

# Delay Attenuation LFU (DA-LFU) Cache Replacement Policy to Improve Hit Rates in CCN

Bin Ban<sup>†</sup> · Tae-Wook Kwon<sup>†\*</sup>

## ABSTRACT

Content Centric Network(CCN) with architecture that is completely different from traditional host-based networks has emerged to address problems such as the explosion of traffic load in the current network. Research on cache replacement policies is very active to improve the performance of CCN with the characteristics that all routers cache on the network. Therefore, this paper proposes a cache replacement policy suitable for situations in which popularity is constantly changing, taking into account the actual network situation. In order to evaluate the performance of the proposed algorithm, we experimented in an environment where the popularity of content is constantly changing, and confirmed that we are superior to the existing replacement policy through comparing hit rates and analyzing server load.

Keywords : Content Centric Network(CCN), Cache Replacement Policy, LFU, LRU

# CCN에서 적중률 향상을 위한 지연감쇠 LFU(DA-LFU) 캐시 교체 정책

반 빈<sup>†</sup> · 권 태 옥<sup>†\*</sup>

## 요 약

현재 네트워크의 트래픽 부하 급증과 같은 문제를 해결하기 위해 기존의 호스트 기반 네트워크와 완전히 다른 아키텍처를 가진 콘텐츠 중심 네트워크(CCN)가 등장하였다. 네트워크 상 모든 라우터가 캐시 한다는 특징을 가진 CCN의 성능을 향상시키기 위해 캐시 교체 정책에 대한 연구가 매우 활발하다. 따라서 본 논문에서는 실제 네트워크 상황을 고려하여 요청되는 콘텐츠의 인기도가 끊임없이 변화하는 상황에 적합한 캐시 교체 정책을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 콘텐츠의 인기도가 지속적으로 변화하는 환경에서 실험하였고, 적중률 비교와 서버 부하분석을 통해 기존의 교체정책보다 우수함을 확인하였다.

키워드 : 콘텐츠 중심 네트워크, 캐시 교체 정책, LFU, LRU

## 1. 서 론

개방, 참여, 공유의 정신을 기반으로 사용자가 정보의 소비자이자 생산자가 되는 인터넷 통합 환경인 웹 2.0[1] 기술이 등장하면서 YouTube, Facebook, Instagram 등 Social media가 활발해짐으로 인해 생성되는 콘텐츠의 수가 기하급수적으로 증가하고 있다. 이에 따라 인터넷 트래픽이 급증하고 있는데, 기존의 주소 기반 인터넷 구조는 IP 메커니즘에 의하여 동일 콘텐츠를 반복적으로 전송한다는 문제점이 있어

이러한 문제점을 해결하기 위한 많은 대안 중 하나로 등장한 것이 콘텐츠 중심 네트워크(Content Centric Network, CCN)[2]이다

CCN의 주요 특징 중 하나는 네트워크 내 모든 라우터들이 콘텐츠를 저장할 수 있는 캐시 공간(Contents Store, CS)을 가지고 있다는 점이다. 이를 활용하여 서버로 집중되는 네트워크 트래픽을 분산시키고 클라이언트들이 콘텐츠 요청 시 응답시간을 단축시키는 등의 효과를 기대할 수 있다. 이와 같이 CCN에 적용된 in-network cache는 네트워크 성능향상의 핵심 축으로써 이와 관련된 캐시 성능향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

네트워크상 유통되는 콘텐츠 용량 대비 각 라우터에 저장할 수 있는 캐시 공간은 상당히 제한적이므로 어떤 캐시정책

<sup>†</sup> 준 회 원 : 국방대학교 컴퓨터공학전공 석사  
<sup>†\*</sup> 정 회 원 : 국방대학교 컴퓨터공학전공 교수  
Manuscript Received : August 20, 2019  
First Revision : September 30, 2019  
Accepted : October 29, 2019  
\* Corresponding Author : Bin Ban(rubiny@naver.com)

을 활용하느냐에 따라 캐시 성능에 지대한 영향을 미친다. 이러한 캐시 정책은 크게 두 가지 분야로 나누어 연구가 되고 있다. 첫 번째는 콘텐츠 교체 정책(Content Replacement Policies)[3]으로 “What to cache?”에 중점을 둔 캐시 연구 분야이다. 이는 각각의 라우터를 기준으로 캐시 저장 공간이 꽉 찼을 때 어떤 콘텐츠를 제거하고 새로운 콘텐츠를 저장하는가에 대한 것으로 기존 웹캐시의 정책과 거의 유사하다. 두 번째는 콘텐츠 저장 정책(Content Storage Policies)[3]으로 “Where to cache?”에 중점을 둔 캐시 연구 분야이다. 이는 전체 네트워크를 기준으로 콘텐츠 전달 경로상 어떤 라우터에 저장을 해야 콘텐츠 중복을 최소화하며 가장 효율적으로 전체 네트워크를 운용할 수 있는지에 대한 것이다.

본 논문에서는 콘텐츠 교체 정책에 중점을 두고 연구를 진행하였으며, CCN의 기본 캐시 교체 정책인 LRU(Least Recently Used)와 LFU(Least Frequency Used) 정책의 단점을 보완하고 장점을 극대화하기 위해 시간 지역성과 참조빈도를 동시에 고려하여 변화에 적응적이고 적응률이 높은 캐시 교체 정책인 지연 감쇠 LFU(Delay Attenuation LFU, DA-LFU)정책을 제안하였으며 제안정책의 효율성을 입증하기 위해 캐시 적응률과 서버 부하를 LRU, LFU 정책과 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 호스트 기반 네트워크와 구별되는 CCN의 기본개념 및 특징에 대해 알아보고, 지금까지 연구된 캐시 교체 정책에 대해 분석하였다. 3장에서는 제안하는 캐시 교체 정책인 DA-LFU 정책에 대한 이론적 설명과 동작 절차에 대해 기술하였다. 4장에서는 제안한 정책을 실제 구현하여 실험을 통해 성능을 평가하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 콘텐츠 중심 네트워크(CCN)

기존 인터넷의 IP주소는 “어디(Where)”에 콘텐츠가 있는지를 찾았다면, CCN은 콘텐츠 이름에 주소 역할을 부여하여 “어떤(What)” 데이터를 찾는 새로운 아키텍처를 지닌 네트워크이다. CCN의 가장 큰 특징 중 하나는 각 라우터가 캐시 저장 공간을 가지고 있어 in-network cache가 가능하다는 점이다. 이로 인해 다른 클라이언트가 중복된 콘텐츠를 요청하는 경우 중간 라우터에 콘텐츠가 저장되어 있다면 서버까지 가지 않고도 원하는 콘텐츠를 얻을 수 있기 때문에 일부 서버에서 발생 할 수 있는 병목현상을 방지할 수 있으며, 응답시간이 감소한다. 이와 더불어 불필요한 중복된 데이터 이동의 감소로 혼잡발생 및 패킷 손실 가능성 또한 감소하여 전체 네트워크의 효율 및 성능이 향상될 것으로 기대된다.

CCN에서는 통신을 위해 Interest 패킷과 Data 패킷이라는 두 가지 메시지 패킷을 이용한다. Interest 패킷은 정보 요청자가 원하는 콘텐츠를 요청하기 위해 보내는 메시지로 콘텐츠 이름(Content Name)과 선택자(Selector), 랜덤 임

시 변수(Nonce)로 구성되어 있다. Data 패킷은 정보 요청자가 요청한 Interest 패킷에 대한 응답으로 정보제공자가 해당 콘텐츠 청크(Chunk)를 포함하여 Interest 패킷의 역경로로 전송하는 패킷으로 콘텐츠 이름(Content Name), 서명(Signature), 사인 정보(Signed Info), 데이터(Data)로 구성되어 있다.

CCN의 포워딩 엔진은 Fig. 1과 같이 CS(Content Store), PIT(Pending Interest Table), FIB(Forwarding Information Base)로 구성된다[2]. CS는 캐시 저장 공간으로 수신된 콘텐츠들을 저장하며 효율적인 운영을 위해 캐시 교체 정책을 적용하는데 LRU와 LFU 정책이 대표적이다. PIT는 Interest 패킷 수신 시 요청이 들어온 Face를 기록함으로써 차후 Data 패킷 수신 시 요청이 들어온 방향으로 콘텐츠를 전송하기 위해 존재한다. FIB는 해당 콘텐츠의 정보제공자가 위치하는 Face를 기록하여 기존 IP 노드의 라우팅 테이블과 유사한 역할을 한다.

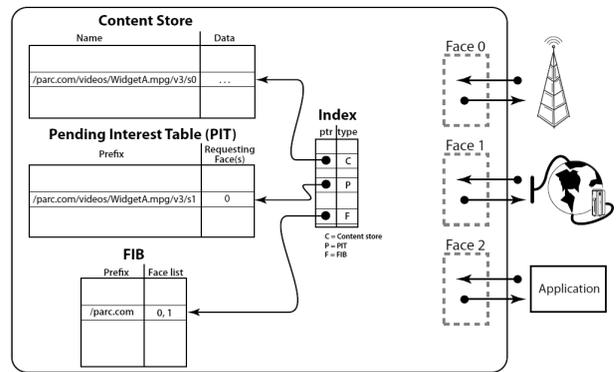


Fig. 1. CCN Forwarding Engine

CCN 노드의 포워딩 엔진은 Interest 패킷이 수신되면 동작하기 시작하는데 가장먼저 CS에 해당하는 콘텐츠가 있는지 확인을 하여 CS내에 해당 콘텐츠가 있다면 해당하는 Data 패킷을 Interest 패킷이 수신된 Face로 전송한다. 그러나 CS내에 해당하는 콘텐츠가 없다면 다른 정보제공자에게 요청을 해야 하는데, 그전에 PIT에 해당하는 콘텐츠에 대한 요청 기록이 있는지 확인을 해야 한다. PIT내에 요청 기록이 있다면 다른 Face로부터 이미 콘텐츠가 요청되어 정보제공자 방향으로 Interest 패킷을 보낸 상태이므로 방금 수신된 Face를 PIT entry에 추가하고 따로 요청을 하지 않는다. 그러나 PIT에 해당하는 콘텐츠에 대한 요청 기록이 없다면 처음 요청되는 콘텐츠이므로 정보제공자의 위치를 알기 위해 FIB를 확인한다. 그러나 FIB에 요청 콘텐츠의 Prefix가 없다면 이는 서비스가 불가능한 콘텐츠이므로 Interest 패킷을 폐기하고 동작을 종료한다. 반면, FIB에 요청 콘텐츠의 Prefix가 있다면 PIT entry에 방금 수신된 Face를 추가하고 FIB에 기록된 Face로 Interest 패킷을 전송하여 해당 콘텐츠를 요청한다.

Interest 패킷 처리 후 이에 대한 응답으로 Data 패킷이 수신되는데 이때 동작 메커니즘은 다음과 같다. 우선 Interest 패

킷 수신 시와 동일하게 CS에 동일한 콘텐츠가 있는지 확인을 하는데, 동일한 콘텐츠가 존재한다면 요청한 콘텐츠가 아니므로 Data 패킷을 폐기하고, 동일한 콘텐츠가 존재하지 않는다면 PIT를 확인하여 요청이 들어왔던 Face들에게 Data 패킷을 전송하고 PIT entry의 해당 목록을 삭제하며 CS에 해당 데이터를 저장한다. 반면 PIT에 해당 콘텐츠에 대한 목록이 없다면 요청하지 않은 콘텐츠이므로 Data 패킷을 폐기한다.

## 2.2 캐시 교체 정책

캐시 교체 정책은 CCN에서 뿐만 아니라 CPU 캐시, 디스크 캐시, 웹 캐시 등 다양한 환경에서 많은 연구가 진행되어 온 분야로 다양한 기준과 고려요소들을 병합하여 수많은 교체정책이 고안되었다. 그러나 기본적으로 최근요청과 빈도라는 두 가지 특성에 대체로 의존하거나 이를 바탕으로 추가적인 고려요소나 판단 기준을 선정한다.

순수한 최근요청 기반 정책인 LRU 정책은 가장 오래전에 참조된 콘텐츠를 삭제함으로써 시간 지역성을 이용한다. LRU 정책은 빈번히 참조되는 인기 있는 콘텐츠들의 집합, 즉 핫 집합의 변화(hot-set drift)[4]를 반영한다. 그러나 캐시에 저장된 이후 한 번도 참조되지 않는 콘텐츠(0\_reuse)[5]가 많을 경우 효율이 떨어지며, 누적되는 인기도를 반영하지 못한다. 따라서 이러한 단점을 보완하고자 하는 노력들이 이어졌는데, 그 중 하나로 Value-Aging 정책[6]은 참조시간에 따라 가치를 다르게 하여 최근에 참조될수록 높은 가치를 가지는 수식을 제안하였다.

반면, 전적으로 빈도에 기반을 둔 정책인 LFU 정책은 참조 빈도가 가장 적은 콘텐츠를 삭제함으로써 콘텐츠의 누적되는 인기도를 반영한다. 그러나 핫 집합의 변화를 반영하지 않기 때문에 이미 많은 참조 횟수를 기록한 콘텐츠들은 제거되지 않는 오염현상(cache pollution)을 초래할 수 있다. 이러한 LFU 정책의 단점을 극복하기 위해 LFU-Aging[7],  $\alpha$ -Aging[6]과 같은 Aging의 개념이 등장하였다. LFU-Aging 정책은 참조횟수의 최대치를 지정하여 특정 콘텐츠의 참조횟수가 과도하게 많아지는 경우를 막고, 평균 참조횟수의 임계치를 정해 이를 초과할 경우 전체 콘텐츠의 참조횟수를 반감하였으며,  $\alpha$ -Aging 정책은 특정 기간 동안 참조된 횟수에 보정상수  $\alpha$ 를 곱하여 시간에 따라 가치를 상쇄시켜 참조횟수를 조정하고자 하였다.

최근요청 기반과 빈도기반 정책의 장점만을 이용하는 혼합형 정책도 연구가 되었는데, 대표적인 정책으로 Hyper-G[8], LRFU[9] 등이 있다. Hyper-G는 최근요청, 빈도, 크기를 모두 고려한 정책으로 먼저 빈도를 기준으로 정렬한 후, 동일할 경우 최근성에 따라 우열을 가리는데 그럼에도 교체대상이 불명확할 경우 크기가 큰 것을 먼저 교체하는 정책이다. LRFU는 최근참조시점 뿐 아니라 과거 참조시점도 고려되 참조시점에 따라 가중치를 다르게 하여 각 콘텐츠의 가치를 측정

하여 가치가 가장 떨어지는 것을 교체하는 정책이다.

이처럼 전통적인 캐시교체정책을 CCN 적용하고자 하는 연구 뿐 아니라 CCN의 특성에 맞는 새롭고 독창적인 캐시 교체정책에 대한 연구도 활발히 진행되었다.

대표적으로 참조횟수와 이동된 흡수를 고려해 이득이 가장 적은 콘텐츠를 교체하는 LB(Least Benefot)정책[10], 애플리케이션별 지정된 캐시공간만을 사용함으로써 캐시의 효율을 높이는 Partitioning정책[11], 다양한 판단 기준에 따라 콘텐츠들을 범주화하고 그 범주화된 카테고리별 인기도를 측정하여 캐시 교체 시 가중치를 부여하는 RUF(Recent Usage Frequency)정책[12], 콘텐츠의 생존시한을 설정하여 일정시간 이상 추가 참조가 없는 콘텐츠들을 방출하는 TTL(Time to Live)-based 정책[13] 등 다양한 캐시 교체 정책이 연구되었다.

## 3. 지연 감쇠 LFU(DA-LFU)

### 3.1 개요

네트워크 트래픽 상 콘텐츠의 인기도는 zipf분포[14]를 따르지만 이러한 인기도는 실시간 검색어처럼 계속해서 변화한다. 따라서 인기도를 반영하면서도 변화에 적용할 수 있는 캐시 교체정책을 설계해야 한다.

이에 다음과 같은 중점을 두고 캐시교체 정책을 수립하였다. 첫째, 콘텐츠의 인기도를 잘 반영하며, 인기도의 변화에 적용할 수 있는 캐시 교체 정책의 수립이다. 콘텐츠의 인기도를 잘 반영하기 위해서는 콘텐츠의 참조빈도를 고려해야 한다. 따라서 LFU 정책의 참조횟수를 기본 요소로 활용하여 콘텐츠들을 정렬하여 인기도를 반영하고자 하였고, 캐시오염현상을 제거하여 변화에 적응하도록 하기 위해 타이머를 적용하여 일정시간 경과 후 지연적으로 참조횟수를 감쇠시킨다.

둘째, 범용성 있는 캐시 교체 정책의 수립이다. 특정상황이나 가정 하에서만 효율적인 캐시교체정책은 이외의 예외적인 상황에서 효율이 급감하는 단점이 있다. 따라서 어떠한 경우에도 전반적으로 높은 효율을 유지 할 수 있도록 새로운 고려요소를 추가하는 대신 최근요청과 빈도라는 캐시 교체 정책의 기본 특성 두 가지를 잘 조합하여 효율적인 캐시 교체 정책을 제안하고자 한다.

이를 위해 본 논문에서는 캐시 저장공간을 Popular Segment와 Unpopular Segment로 나누어 캐시 실패나 적중 시 Popular Segment에 저장하고 각 콘텐츠에 타이머를 적용하여 일정시간 경과 후 Unpopular Segment로 이동시켜 참조횟수로 정렬하고, 이때 작동하는 타이머에 따라 일정주기로 참조횟수를 감쇠시키는 DA(Delay Attenuation)-LFU 정책을 제안한다.

### 3.2 DA-LFU 정책 알고리즘

DA-LFU 정책은 인기도를 반영하기 위해 참조횟수를 활용

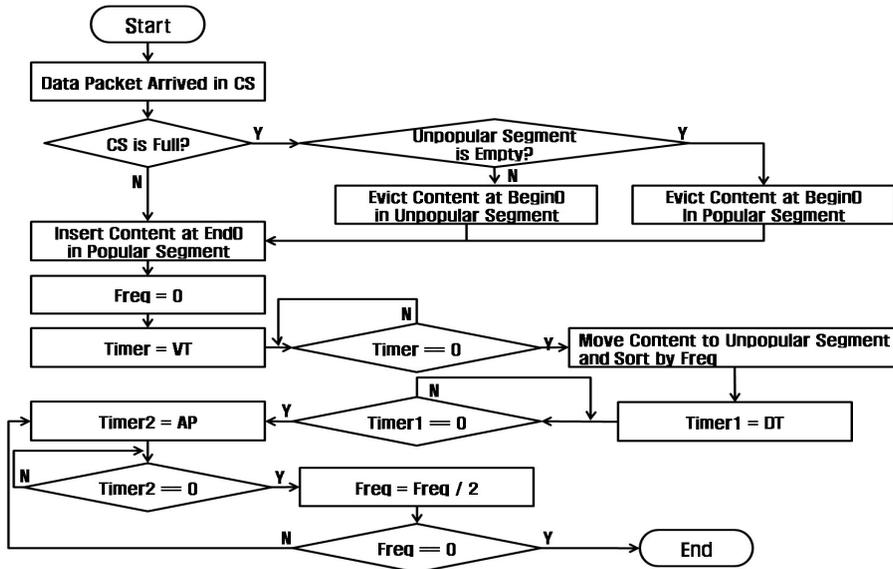


Fig. 2. DA-LFU Flowchart of Algorithms

하고, 핫 집합의 변화에 적응하기 위해 타이머를 적용한다. 콘텐츠가 저장되면 최초에는 LRU 정책과 동일하게 저장하지만, 타이머를 적용시켜 일정시간이 경과하면 참조횟수로 정렬하여 인기도를 반영한다. 이때 바로 참조횟수로 정렬하지 않고 일정시간 대기하는 이유는 새로 저장된 콘텐츠의 인기도를 판단할 수 있는 최소 시간을 보장하기 위함이며, 추가적으로 LRU 정책의 문제점인 0\_reuse를 빠르게 식별하여 제거하기 위함이다. 참조횟수로 정렬한 이후에도 일정시간 추가 참조가 없는 콘텐츠들은 일정주기마다 참조횟수를 감소시켜 LFU 정책의 문제점인 캐시 오염현상을 방지한다.

이를 구현하기 위해 CS를 Popular Segment와 Unpopular Segment 두 개의 구역으로 나눈다. Popular Segment는 캐시 실패나 적중 시 콘텐츠가 위치하는 장소로 비교적 최근에 요청되었으므로 해당 콘텐츠가 인기 있다고 판단되어 캐시 교체 시 삭제되지 않고 보호되는 구역이다. Unpopular Segment는 일정시간동안 추가 요청이 없어 인기도가 감소한 것으로 판단되는 콘텐츠들이 위치하는 장소로써 참조횟수에 따라 정렬되어 캐시 교체 시점에 가장 적은 참조횟수를 가진 콘텐츠가 제거된다.

DA-LFU 정책의 동작 메커니즘의 핵심적인 시간 변수로 검증시간(Verification Time, VT), 지연시간(Delay Time, DT), 감쇠주기(Attenuation Period, AP)가 있다. 검증시간은 콘텐츠의 인기도를 검증하기 위해 주어지는 최소시간으로 콘텐츠가 Popular Segment에 머무를 수 있는 시간이다. 검증시간이 너무 짧다면 새롭게 캐시된 콘텐츠들이 조기에 퇴출될 수 있고, 너무 길다면 LRU 정책과 유사해진다. 지연시간은 참조횟수를 통한 인기도를 충분히 반영하기 위해 참조횟수 감소를 지연하는 시간으로 콘텐츠가 Unpopular Segment로 이동된 후 감쇠주기가 시작되기 전까지의 대기시간이다. 지

연시간이 너무 짧다면 참조횟수를 통한 인기도가 충분히 반영되지 않을 수 있고, 너무 길다면 캐시 오염현상이 심화된다. 감쇠주기는 캐시 오염현상 방지를 위해 인기도가 하락되어 추가 참조 가능성이 저하된 콘텐츠들의 참조횟수를 반감시키는 주기이다. 감쇠주기 또한 짧거나 길어졌을 때 지연시간과 동일한 특징이 있다. 따라서 이 시간변수들을 적절하게 조절하는 것이 DA-LFU 정책의 효율성에 큰 영향을 미친다.

제안 정책의 캐시 Miss 시 알고리즘 순서도인 Fig. 2를 참조하여 세부 동작 메커니즘을 살펴보면 캐시 실패나 적중 시 콘텐츠는 Popular Segment의 최하단에 위치하고 타이머가 새롭게 작동한다. 이 타이머가 검증시간을 경과하면 해당 콘텐츠는 Unpopular Segment로 이동되며 최하단부터 비교하여 참조횟수가 적거나 같은 콘텐츠의 하단에 위치한다. 즉, 참조횟수로 정렬된다. Unpopular Segment로 이동되면 새로운 타이머가 작동되고 이 타이머가 지연시간을 경과한 후부터 감쇠주기마다 해당 콘텐츠의 참조횟수를 반감시킨다. 캐시의 저장 공간이 가득 차 캐시교체가 필요한 경우 Unpopular Segment의 최상단에 저장된 콘텐츠를 제거한다. 그러나 Unpopular Segment가 비어있을 경우에는 Popular Segment의 최상단에 저장된 콘텐츠를 제거한다. 이 경우에는 LRU 정책과 동일하게 동작하므로 이러한 경우가 발생하지 않도록 검증시간을 조정해 주어야 한다.

### 3.3 DA-LFU 정책 동작 메커니즘

제안한 캐시 교체 정책이 구체적으로 어떻게 동작하는지 쉬운 예시인 Fig. 3을 통해 설명한다. 쉬운 설명을 위해 검증시간과 지연시간은 2초, 감쇠주기는 1초로 가정하였다. Fig. 3A는 캐시 저장 공간이 가득 찬 상태에서 콘텐츠 “H”와 “K”를 동시에 요청한 상황이다. 콘텐츠 “H”의 경우 CS내 Unpopular Seg-

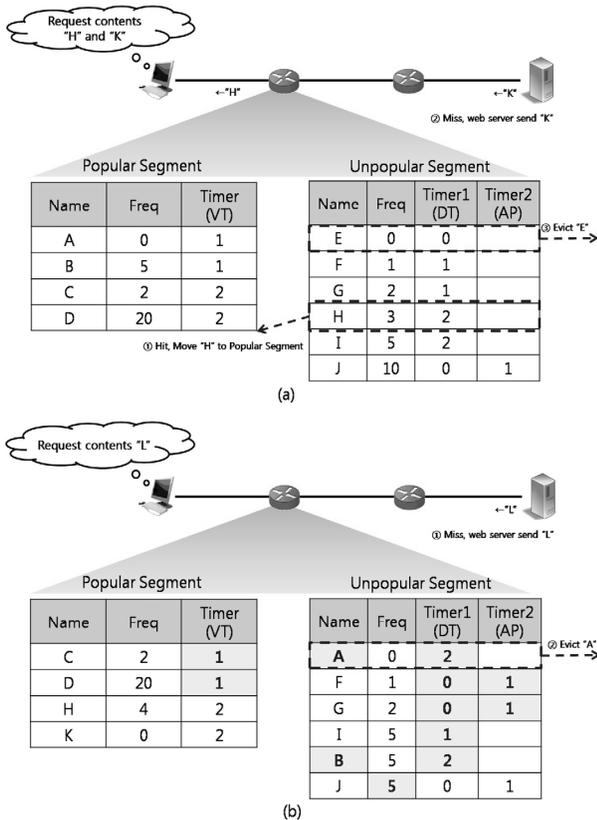


Fig. 3. DA-LFU operating procedure.

ment에 저장되어 있으므로 Hit가 된 상황으로 Freq를 1올려 주고 Popular Segment의 최하단으로 이동하게 된다. 콘텐츠 “K”는 CS내에 저장되어 있지 않으므로 Miss가 된 상황으로 다른 정보제공자로부터 콘텐츠를 받아 캐시 교체가 이루어진다. 이 때 Unpopular Segment의 최상단에 있는 콘텐츠 “E”를 제거하고 새로운 콘텐츠인 “K”를 Popular Segment의 최하단에 저장한다.

Fig. 3B는 이어지는 상황으로 1초가 경과한 후 새로운 콘텐츠 “L”을 요청한 상황이다. 우선 앞선 상황에서 요청되었던 콘텐츠 “H”와 “K”가 Popular Segment 하단부에 저장되어 있는 것을 확인할 수 있고, 1초가 경과함에 따라 기존의 테이블이 어떻게 변화하였는지 살펴보자. 시간 경과에 따라 변화가 있는 부분은 Fig. 3B에서 음영처리를 하였다.

Fig. 3A에서는 Popular Segment에 있었던 콘텐츠 “A”와 “B”는 검증시간이 모두 경과하여 Unpopular Segment로 이동되었다. 이때, 콘텐츠 “A”는 Freq가 0이므로 이보다 적거나 같은 Freq를 가지고 있는 콘텐츠가 없어 최상단에 위치하게 된다. 한편 콘텐츠 “B”는 Freq가 5이고, 이동할 당시에는 감쇠주기에 의한 Freq 반감작업이 이루어지기 전이기 때문에 동일한 Freq를 가지고 있는 콘텐츠 “I”의 하단에 위치한다. 여기서 검증시간 경과에 따른 콘텐츠 이동작업이 감쇠주기에 따른 콘텐츠의 Freq 반감작업보다 우선한다는 것을 알 수 있다.

검증시간 경과에 따른 콘텐츠의 이동작업이 완료되면 감쇠주기에 따른 콘텐츠의 Freq 반감작업이 이루어지는데 이에 따라 콘텐츠 “J”의 Freq가 10에서 5로 반감된다. 그 외 나머지 기존에 있었던 콘텐츠들은 모두 Fig. 3A에 비해 타이머가 1초씩 경과된 것을 확인할 수 있으며, 콘텐츠 “F”와 “G”의 경우 지연시간이 모두 경과되어 감쇠주기 타이머가 작동하기 시작한 것을 확인할 수 있다. 이 상황에서 새로운 콘텐츠인 “L”이 전송되면, Unpopular Segment의 최상단에 있는 콘텐츠 “A”가 제거되는데, 이는 LRU정책의 단점으로 기록되었던 0\_reuse를 신속히 식별하고 제거한 사례라고 볼 수 있다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1 실험환경 구성

제안정책의 성능을 확인하기 위해 CCN 노드를 구현할 수 있는 ns-3 기반의 시뮬레이터인 ndnSIM을 이용하였다. 토폴로지는 3계층 2진트리 구조를 구성하여 캐시의 적중률, 서버의 부하 측면에서 CCN의 기본 교체정책인 LRU, LFU정책과 비교하였다.

세부적인 실험환경으로 총 시뮬레이션 시간은 500초, 초당 콘텐츠 요청 수는 40개, 캐시의 크기는 0.5~5%, 전체 콘텐츠 수는 10000개를 사용하였고, 콘텐츠 요청은 인기도 반영을 위해 zipf분포를 따라 요청하되 0, 100, 200, 300, 400초에 서로 다른 생성자로부터 일시적인 콘텐츠 요청 패턴을 각각 100초간 발생시킴으로써 인기도의 변화를 주었고, 지속적인 콘텐츠 요청 패턴은 0초부터 실험이 종료될 때까지 지속하였다. 일시적인 콘텐츠 요청패턴과 지속적인 콘텐츠 요청패턴의 비율은 7:1로 실제 네트워크와 유사하게 인기도가 지속적으로 변화하는 환경을 조성하였다.

#### 4.2 성능 분석

다른 캐시 교체 정책과 비교하기에 앞서 DA-LFU 정책의 성능을 극대화하기 위해 해당 실험환경에서 가장 높은 캐시 적중률을 나타내는 파라미터 값을 찾기 위한 실험을 먼저 진행하였다.

검증시간, 지연시간, 감쇠주기 중 성능에 가장 큰 영향을 미치는 파라미터는 지연시간으로써 캐시 크기 1%에서 검증시간과 감쇠주기를 0.5초로 고정하고 지연시간을 변화시켜 종단노드들의 평균 적중률을 측정한 결과 Fig. 4와 같이 지연시간이 25~30초일 때 가장 높은 적중률을 보였으며, 15초 이하, 45초 이상이 되면 캐시 적중률이 눈에 띄게 하락하는 것을 알 수 있다.

검증시간은 0.5~1초일 때 가장 좋은 효율을 보여 캐시 크기 20~40%의 콘텐츠를 수신할 정도의 시간이 가장 적당한 것으로 판단되며, 감쇠주기는 지연시간이 충분히 보장되는 경우 짧을수록 좋지만, 지연시간이 충분히 보장되지 않는 경

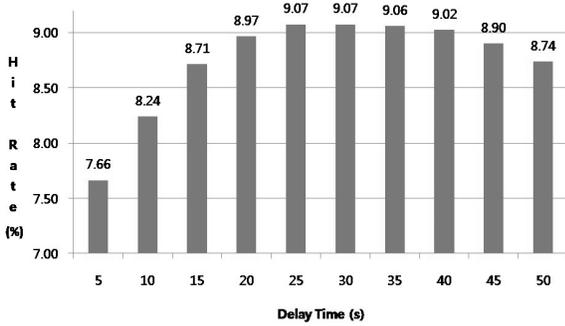


Fig. 4. Cache Hit Rate Comparison by DT

우 짧을수록 효율이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 감쇠주기는 0.5초, 지연시간은 25초, 검증시간은 캐시크기에 따라 캐시크기 20%의 콘텐츠를 수신할 정도의 시간으로 실험을 진행하였다. 즉, 검증시간의 경우 캐시크기 1%의 경우 0.5초, 5%의 경우 2.5초를 적용하였다.

캐시크기 1%일 때 시간에 따라 중단노드들의 평균 적중률 변화를 관찰한 결과는 Fig. 5와 같다. 요청되는 콘텐츠의 인기도의 변화가 없는 초반 구간에서는 DA-LFU와 LFU정책의 성능이 유사하게 우수하였지만, 인기도 변화가 발생하는 구간 이후부터는 캐시오염현상에 의해 LFU의 성능은 지속적으로 저하되었고, DA-LFU와 LRU 정책의 적중률은 유지되었다. 또한, DA-LFU는 LRU보다 3~4% 향상된 적중률을 유지하였다. 실험이 종료된 시점의 DA-LFU 정책의 평균 적중률은 9.07%로 5.58%인 LRU 정책대비 62.6%를 향상시켰으며, 3.71%인 LFU 정책과 비교하면 144.8%를 향상시켰다. 이를 통해 제안하는 정책이 LRU 정책보다 인기도를 더 반영하여 성능이 우수하고, LFU정책의 오염현상을 해결함으로써 인기도 변화에도 적응 가능함을 확인할 수 있다.

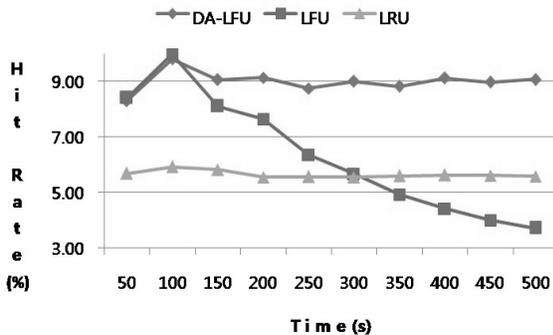


Fig. 5. Cache Hit Rate Comparison by Time

Fig. 6은 캐시 크기별 중단노드들의 평균 캐시 적중률을 측정한 결과로써 캐시 크기가 커질수록 모든 정책의 적중률도 증가함을 확인할 수 있다. 특히 LRU 정책이 가장 높은 증가율을 보여 캐시 크기가 커질수록 DA-LFU정책과 적중률 격차가 좁혀졌고, DA-LFU정책과 LFU정책의 증가율은 유사

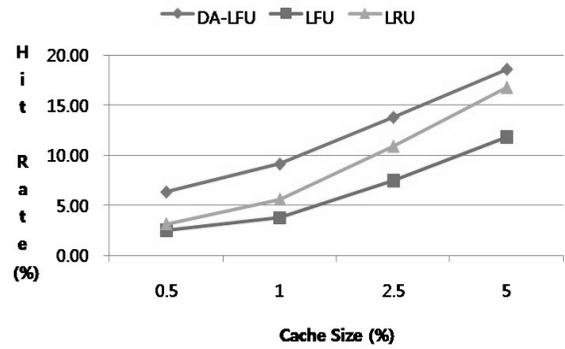


Fig. 6. Cache Hit Rate Comparison by Cache Size

하여 평균 캐시 적중률 차이는 비슷하게 유지되었다. 따라서 캐시 크기가 커질수록 DA-LFU 정책으로 얻을 수 있는 이득이 감소하므로 비용 대 효과측면에서 0.5~1%의 캐시크기를 선택하여 운용하는 것이 가장 효율적이다.

각 캐시 교체 정책이 전체 네트워크에서 얼마나 이득을 줄 수 있는지 여부를 판단하기 위해 캐시 크기 1%에서 시간에 따른 서버의 부하 분석을 실시한 결과는 Fig. 7과 같았다. 서버에서 발생하는 부하는 전체 요청횟수 대비 적중되지 않고 서버까지 도달하는 메시지의 정도를 나타낸다. DA-LFU 정책은 85~86%를 꾸준히 유지하여, 90~91%를 계속 유지한 LRU 정책에 비해 50~60%의 서버 부하를 감소시켰고, 후반부에 급격히 감소한 LFU 정책에 비해서는 최대 103%까지 서버 부하를 감소시켰다. 따라서 DA-LFU 정책이 전체 네트워크의 부하 감소 측면에서도 효율성이 있음을 확인할 수 있다.

DA-LFU 정책의 범용성을 입증하기 위해 100초간 발생시켰던 일시적인 요청패턴을 150초로 증가시켜 서로 다른 요청패턴이 겹치는 구간 50초가 생기도록 변화를 주고 캐시크기 1%일 때 중단노드들의 평균 적중률 변화를 관찰한 결과는 Fig. 8과 같다. 전체적인 그래프 형태는 기존 실험과 유사하며, DA-LFU 정책과 LRU 정책의 평균적인 적중률은 감소하였지만, 실험이 종료된 시점의 DA-LFU 정책의 평균 적중률

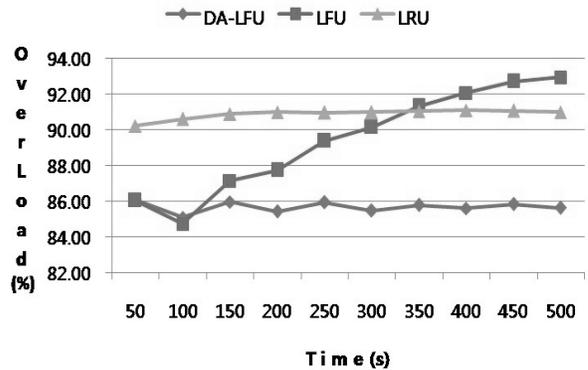


Fig. 7. Server Load Comparison by Time

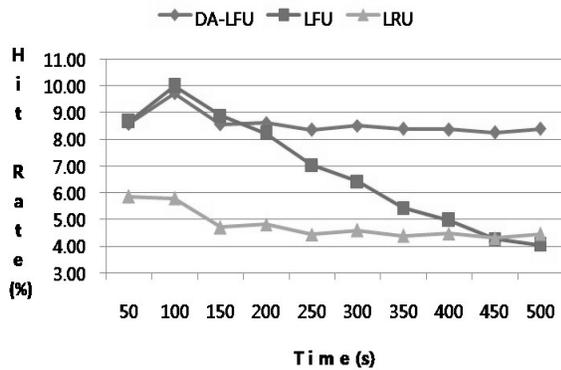


Fig. 8. Cache Hit Rate Comparison by Time

은 8.39%로 4.46%인 LRU 정책대비 88%를 향상시키며 오히려 더 큰 이득을 보여주었다. 따라서 DA-LFU 정책이 다양한 환경에서도 적응가능하며 범용성 있는 캐시 교체 정책임을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 CCN 네트워크의 성능향상을 위한 방안으로 효율적인 캐시교체 정책인 지연 감쇠 LFU(DA-LFU)를 제안하였다. 특히, 기존의 기본 정책인 LRU와 LFU정책의 기본 특성을 이용하되 단점인 캐시오염현상 극복 및 캐시에 저장된 이후 추가 참조되지 않는 콘텐츠 대한 대비를 하였고, 요청되는 콘텐츠들의 인기도가 변화하는 환경에 적응할 수 있는 캐시 교체 정책을 설계하였다. 실험을 통해 제안한 기법이 LRU, LFU 정책 보다 더 나은 성능을 보여줌으로써 우수성을 증명하였고, 이를 적용 시 CCN 네트워크의 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 제안한 기법은 향후 다음과 같은 추가 연구를 통해 보완시켜야 한다. 제시한 정책에는 검증시간, 지연시간, 감쇠 주기의 세 가지 파라미터가 존재하는데 이 파라미터들을 어떻게 설정하느냐에 따라 성능 차이가 많이 나고, 실험환경에 따라라도 차이가 있다. 따라서 가장 효율적인 파라미터 값을 자동으로 구하거나 파라미터 값에 의존하지 않는 캐시 교체 정책 위한 연구가 추가적으로 필요하다.

## References

- [1] T. O'reilly, "What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software," Communication & Strategies, 2007.
- [2] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking Named Content," *Proceed. of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, ACM, pp. 1-12, 2009.
- [3] G. M. Brito, P. B. Velloso, and I. M. Moraes, "Information-Centric Networks: A New Paradigm for the Internet," John Wiley & Sons, 2013.
- [4] A. Mahanti, D. Eager, and C. Williamson, "Temporal locality and its impact on web proxy cache performance," *Performance Evaluation*, Vol.42, No.2-3, pp.187-203, 2000.
- [5] M. K. Qureshi, A. Jaleel, Y. N. Patt, S. C. Steely, and J. Emer, "Adaptive Insertion Policies for High Performance Caching," *ISCA 2007: Proceedings of the 34th Annual International Symposium on Computer Architecture*, ACM, pp.381-391, 2007.
- [6] J. Zhang, R. Izmailov, D. Reininger, and M. Ott, "Web caching framework: Analytical models and beyond," *IEEE Workshop on Internet Applications*, pp.132-141, 1999.
- [7] M. Arlitt, L. Cherkasova, J. Dille, R. Friedrich, and T. Jin, "Evaluating content management techniques for web proxy caches," *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, Vol.27, No.4, pp.3-11, 2000.
- [8] M. Abrams, C. R. Standridge, G. Abdulla, E. A. Fox, and S. Williams, "Removal policies in network caches for World-Wide Web documents," *ACM Sigcomm Computer Communication Review*, Vol.26, No.4, pp.293-305, 1996.
- [9] D. Lee, J. Choi, J. Kim, S. Noh, S. Min, Y. Cho, et al., "LRFU: a spectrum of policies that subsumes the least recently used and least frequently used policies," *IEEE Transactions on Computers*, Vol.50, No.12, pp.1352-1361, 2001.
- [10] A. A. Barakabitze and T. Xiaoheng, "Caching and data routing in information centric networking(ICN): The future internet perspective," *International Journal*, Vol.4, No.11, 2014.
- [11] Y. Lu, A. Saxena, and T. F. Abdelzaher, "Differentiated caching services; a control-theoretical approach," *Proceedings 21st International Conference on Distributed Computing Systems*, IEEE, pp.615-622, 2001.
- [12] S. Kang, S. Lee, and Y. Ko, "A recent popularity based dynamic cache management for content centric networking," *Fourth International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, IEEE, pp.219-224, 2014.
- [13] N. C. Fofack, P. Nain, G. Neglia, and D. Towsley, "Analysis of TTL-based cache networks," *6th International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, IEEE, 2012.
- [14] L. Breslau, P. Cao. L. Fan, G. Philips, and S. Shenker, "Web caching and zipf-like distributions: Evidence and implications," *IEEE INFOCOM'99*, Vol.1, 1999.



**반 빈**

<https://orcid.org/0000-0002-7066-7762>

e-mail : rubiny@naver.com

2010년 육군사관학교 응용화학과(학사)

2020년 국방대학교 컴퓨터공학전공  
(공학석사)

관심분야 : CCN, 캐시



**권 태 욱**

<https://orcid.org/0000-0003-2880-9058>

e-mail : kwontw9042@kndu.ac.kr

1986년 육군사관학교 컴퓨터학과(학사)

1995년 미 해군대학원 컴퓨터공학과(석사)

2001년 연세대학교 컴퓨터공학과  
(공학박사)

2007년 ~ 현 재 국방대학교 컴퓨터공학전공 교수

관심분야 : CCN, SDN, NFV, 센서네트워킹