

마코프체인을 이용한 콘텐츠 중심 네트워크의 캐싱 성능 분석

Numerical Analysis of Caching Performance in Content Centric Networks Using Markov Chain

양원석
한남대학교 경영학과

Won Seok Yang(wonsyang@hnu.kr)

요약

최근 인터넷 멀티미디어 서비스의 폭발적인 증가에 따라 급증하는 데이터 트래픽을 효율적으로 전송하기 위한 콘텐츠 중심 네트워크에 대한 연구가 국내외적으로 활발하다. 콘텐츠 중심 네트워크는 기존의 호스트 중심의 전송방식에서 벗어나 콘텐츠를 중심으로 데이터 트래픽을 전송하는 네트워킹 방법이다. 본 논문에서는 기존의 시뮬레이션과 달리 수리적인 접근 방법을 이용하여 두 개 라우터로 구성된 콘텐츠 중심 네트워크의 캐싱 성능을 분석한다. 통신 네트워크의 확률적 상황을 고려하여 라우터가 두 개인 콘텐츠 중심 네트워크의 캐싱시스템을 이차원의 연속시간 마코프체인으로 모형화한다. 전이율행렬의 구조를 분석하여 캐싱 성능치의 수치해를 유도하고 다양한 수치 예제를 제시한다.

■ 중심어 : | 콘텐츠 중심 네트워크 | 캐싱 | 성능분석 | 마코프체인 |

Abstract

Recently, CCN(Content Centric Network) has been extensively interested in the literature to transfer data traffic efficiently according to the rapid growth of multimedia services on the Internet. CCN is a new networking paradigm to deliver contents efficiently based on the named content not the named or addressed host. This paper presents a mathematical approach for analyzing CCN-caching systems with two routers. Considering the stochastic characteristics of communication networks, the caching system is modeled as a two dimensional Markov chain. This paper analyzes the structural feature of the transition rate matrix in the Markov chain and presents a numerical solution for the CCN-caching performance of the two router system. In addition, various numerical examples are presented.

■ keyword : | Content Centric Network | Caching | Performance Evaluation | Markov Chain |

1. 서론

최근 인터넷은 일상생활의 필수적 수단으로 하루가 다르게 발전하고 이용인구 및 서비스가 폭발적으로 증가하고 있다[1][2]. 특히, 멀티미디어 서비스의 증가로

인해 인터넷 트래픽이 급격하게 증가하고 있다. 현재 인터넷에서는 호스트의 IP 주소를 이용하여 데이터를 송수신하므로 동일한 인터넷 콘텐츠라도 인터넷 사용자 수만큼 반복 전송되어 트래픽의 전송 효율이 저하된다[3]. 최근 인터넷에서 급증하는 데이터 트래픽을 효율

적으로 전송하기 위해 국내외적으로 콘텐츠 중심 네트워크(CCN; Content Centric Networks) 또는 정보 중심 네트워크(Information Centric Networks)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4-8].

CCN은 Jacobson 등[9]에 의해 제안된 새로운 네트워킹 아키텍처이다. CCN은 현재 인터넷 전송의 근간인 호스트 중심의 전송방식에서 벗어나 콘텐츠를 중심으로 데이터 트래픽을 전송하는 네트워킹 방법이다[10][11]. CCN에서 정보요청자는 자신이 원하는 콘텐츠가 어디에 있는 콘텐츠의 위치에 상관없이 콘텐츠 이름으로 요청패킷을 전송하고 요청패킷을 받은 라우터나 정보제공자는 이에 상응하는 콘텐츠를 찾아 응답하게 된다[8].

Psaras 등[12]은 CCN에서 캐싱(caching)의 성능을 분석하였다. Psaras 등[12]의 캐싱 모형에서는 CCN의 라우터(router)가 콘텐츠의 패킷을 캐시에 보유하고 있다. 해당 패킷에 대한 요청이 발생하면 캐시의 패킷을 재사용한다. Psaras 등[12]에서는 단일 라우터 시스템에 대해서는 연속시간 마코프체인(Markov Chain)을 이용하여 수리적으로 캐싱 성능을 분석하였으나 라우터가 2개인 시스템에 대해서는 수리적인 접근이 어려워 시뮬레이션을 이용하였다. CCN의 캐싱 기법 및 성능에 대한 연구는 다양하나 2개 이상의 라우터를 갖는 CCN의 캐싱에 대해서는 대부분 시뮬레이션을 이용하여 캐싱 성능을 분석하였다[3][12-14].

본 논문에서는 기존의 시뮬레이션과 달리 수리적인 접근 방법을 이용하여 라우터가 2개인 CCN의 캐싱 성능을 분석한다. 통신 네트워크의 확률적 상황을 고려하여 라우터가 2개인 CCN 캐싱시스템을 이차원 연속시간 마코프체인으로 모형화하고 전이율행렬의 구조를 분석하여 캐싱 성능을 수리적으로 계산하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 다룬다. 3장에서는 캐싱 모형을 설명하고 수리적인 해법 및 수치 예를 제시한다. 마지막으로 4장에서 간략하게 결론을 다룬다.

II. 문헌연구

인터넷에서 콘텐츠 전송에 필요한 네트워크 자원 및 콘텐츠 전송시간을 줄이기 위해 CDN(Content Delivery Networks)과 웹프록시캐싱(Web Proxy Caching)이 주로 연구되었다. 두 방법에서 가장 중요한 의사결정 사항은 네트워크에서 복사한 콘텐츠의 저장 위치이다. 웹프록시캐싱과 CDN에서는 각각 ISP(Internet Service Provider)와 대리서버(surrogate server) 보유 기업이 복사 콘텐츠의 위치를 결정한다. 웹프록시캐싱과 CDN의 캐싱은 웹페이지 및 콘텐츠 파일을 캐싱하기 때문에 매크로캐싱(macro caching)이라 할 수 있다. 반면, CCN의 캐싱은 데이터 패킷 수준에서 이루어지기 때문에 마이크로캐싱(micro caching)으로 볼 수 있다[12]. 아울러, 기존 인터넷의 캐싱과 달리 CCN의 캐싱은 캐싱투명성(cache transparency), 캐시편재성(cache ubiquity), 캐시콘텐츠단위(fine granularity of cached content)의 특징을 갖는다[13].

웹프록시캐싱에서는 LRU(Least Recently Used) 기법을 주로 이용하기 때문에 캐싱 관련 기존 연구에서는 단일 캐싱시스템에 대한 LRU 연구가 주를 이룬다. 반면, CCN의 경우에는 복수개의 라우터를 통해 캐싱이 이루어진다. 인터넷에서 클라이언트가 콘텐츠 서버에 데이터 콘텐츠를 요청하면 해당 콘텐츠의 데이터 패킷은 콘텐츠 서버로부터 패킷 전송경로를 따라 여러 개의 라우터를 경유하여 클라이언트에게 전송된다. CCN에서는 데이터 패킷 전송에 참여한 전송경로 상의 모든 라우터가 해당 콘텐츠의 패킷을 캐시에 저장한다. 이제 인근의 다른 클라이언트가 동일한 데이터를 콘텐츠 서버에 요구하면 해당 데이터 패킷을 콘텐츠 서버가 아닌 인근의 라우터에서 해당 콘텐츠 데이터를 받을 수 있다. 따라서 CCN에서는 현재 인터넷보다 빠르게 콘텐츠 데이터를 수신할 수 있다[9][15].

Psaras 등[12]은 CCN 캐싱시스템의 성능평가 관련한 대표적인 연구로 마코프체인을 이용하여 단일 라우터로 구성된 CCN 캐싱시스템의 성능을 수리적으로 분석하였다. 반면, 라우터가 2개인 CCN 캐싱시스템의 성능에 대한 수리적인 분석을 포기하고 시뮬레이션을 이용

하여 보다 복잡한 트리 구조의 CCN 캐싱시스템의 성능을 분석하였다. Rossini 등[14]도 시뮬레이션을 이용하여 4×4의 네트워크 토폴로지를 갖는 CCN의 성능을 분석하였다. 콘텐츠 저장을 위해 단일저장소 및 복수저장소 정책을 적용하였다. Kim 등[3]은 혼합정수계획법을 이용하여 링크 비용, 캐시 크기, 콘텐츠 인기도를 고려한 CCN의 콘텐츠 할당 문제를 분석하였다. Xu 등[16]에서는 데이터마이닝 기법을 이용하여 CCN의 캐시크기를 결정하는 문제를 다루었다. 매니폴드러닝 기법을 활용하여 CCN의 노드를 군집분석하고 노드군집의 중요도에 따라 캐시의 크기를 차별화하는 방법을 제안하였다.

CCN은 급증하는 인터넷 트래픽에 대처하기 위해 제안된 네트워킹 구조이므로 CCN에서 네트워킹의 에너지 소비를 낮추는 것도 중요하다. 따라서 최근에는 에너지 절감 및 효율화 관점에 CCN 캐싱에 대한 연구가 활발하다[17-19].

III. CCN 캐싱 모형 성능 분석

1. CCN 캐싱 모형 설명

본 논문에서는 Psaras 등[12]의 용어를 이용하여 두개의 라우터로 구성된 CCN의 캐싱 기법을 설명한다. CCN은 [그림 1]과 같이 라우터 1과 2로 구성되어 있다. [그림 1]에서 라우터 2가 상류(upstream)에 위치해 있다.

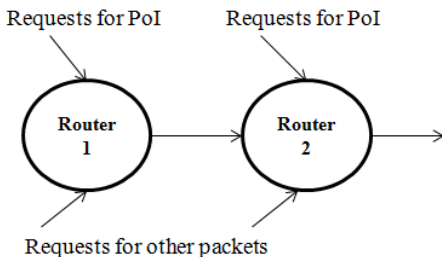


그림 1. 두 개 라우터로 구성된 CCN 시스템

라우터 i 의 캐시 크기는 K_i 이다. 여기에서 $i = 1, 2$ 이다. 라우터 i 에 PoI(Packet of Interest)에 대한 요구가

비율이 λ_i 인 포아송과정(Poisson process)에 따라 발생한다. PoI는 콘텐츠 서버에 전송을 요구하는 특정 콘텐츠 패킷을 의미한다. PoI에 대한 요구가 발생하면 PoI는 해당 라우터의 캐시 슬롯의 맨 위로 이동한다. 한편, 라우터 i 에 PoI 이외의 다른 패킷에 대한 요청이 비율이 α_i 인 포아송과정에 따라 발생한다. 다른 패킷에 대한 요청이 발생하면 캐시에서 PoI의 위치가 한 단계 아래로 조정된다. 요약하면, 특정 패킷에 대한 요청이 발생하면 해당 패킷이 캐시의 맨 위로 이동하며 다른 패킷의 위치는 l 에서 $l+1$ 로 한 단계 아래로 이동한다. 이때 $l = 1, \dots, K_i$ 이다. 라우터 i 의 캐시에서 패킷의 위치가 $K_i + 1$ 이 되면 해당 패킷이 캐시에서 지워짐을 의미한다. 라우터 1에 PoI에 대한 요청이 발생했으나 캐시에 PoI가 없으면 상류인 라우터 2에 PoI를 요청한다. 라우터 2에 PoI가 없으면 라우터 2의 상류에 PoI를 요청한다.

2. 성능 분석

이차원 연속시간 마코프체인의 상태를 (n, m) 으로 나타낸다. n 과 m 은 각각 라우터 1과 2의 캐시에서 PoI의 위치이다. 이때 $n = 1, \dots, K_1 + 1$, $m = 1, \dots, K_2 + 1$ 이다. 라우터 i 의 캐시 크기가 K_i 이므로 상태 $(K_1 + 1, m)$ 과 $(n, K_2 + 1)$ 은 PoI가 라우터 1과 2에 없음을 의미한다.

상태 (n, m) 에서 (n', m') 으로의 전이율을 $\gamma_{(n,m)(n',m')}$ 로 표기한다. $\gamma_{(n,m)(n',m')}$ 은 다음과 같다.

$$\gamma_{(n,m)(n+1,m)} = \alpha_1, \quad n = 1, \dots, K_1, \quad m = 1, \dots, K_2,$$

$$\gamma_{(n,m)(n,m+1)} = \alpha_2, \quad n = 1, \dots, K_1, \quad m = 1, \dots, K_2,$$

$$\gamma_{(n,m)(1,m)} = \lambda_1, \quad n = 1, \dots, K_1,$$

$$\gamma_{(n,m)(n,1)} = \lambda_2, \quad m = 1, \dots, K_2 + 1,$$

$$\gamma_{(K_1+1,m)(1,1)} = \lambda_1,$$

마코프체인의 상태를 n 과 m 의 오름차순으로 정렬하면 다음과 같은 구조의 전이율행렬 Q 를 얻는다.

$$Q = \begin{bmatrix} B & A_1 & & & & \\ C & A_0 & A_1 & & & \\ C & & A_0 & A_1 & & \\ \dots & & & \dots & & \\ C & & & & A_0 & A_1 \\ D & & & & & E \end{bmatrix}. \quad (1)$$

(1)의 원소인 행렬들은 모두 크기가 $K_2 + 1$ 인 정방행렬이다. 먼저, 행렬 A_0 와 D 는 다음과 같다.

$$(A_0)_{ij} = \begin{cases} \alpha_2 & j = i + 1 \\ \lambda_2 & i \geq 2, j = 1 \\ -(\lambda_1 + \alpha_1 + \alpha_2) & i = j = 1 \\ -(\lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_1 + \alpha_2) & 2 \leq i = j \leq K_2 \\ -(\lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_1) & i = j = K_2 + 1 \end{cases},$$

$$(D)_{ij} = \lambda_1, j = 1.$$

이외의 A_0 와 D 원소들의 값은 모두 0이다. (1)의 다른 행렬들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_1 &= \alpha_1 I, \\ C &= \lambda_1 I, \\ B &= A_0 + C, \\ E &= A_0 + A_1. \end{aligned}$$

행렬 I 는 대각선 원소가 모두 1 이고 그 외의 원소는 모두 0인 크기가 $K_2 + 1$ 인 항등행렬이다.

안정상태에서 마코프체인이 상태 (n, m) 에 있을 확률을 $x_{(n,m)}$ 이라 표기한다. 확률벡터 \mathbf{x}_n 과 \mathbf{x} 를 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_n &= (x_{(n,1)}, \dots, x_{(n,K_2+1)}), \\ \mathbf{x} &= (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{K_1+1}). \end{aligned}$$

확률벡터 \mathbf{x}_n 과 \mathbf{x} 는 각각 크기가 $(K_2 + 1)$ 이고 $(K_1 + 1)(K_2 + 1)$ 인 행벡터이다.

연속시간 마코프체인의 정의에 따라 (1)의 전이행렬 Q 와 확률벡터 \mathbf{x} 는 다음을 따른다.

$$\mathbf{x}Q = \mathbf{0}, \quad (2)$$

$$\mathbf{x}\mathbf{e} = 1. \quad (3)$$

식 (3)의 \mathbf{e} 는 모든 원소가 1인 열벡터이다. 식 (1)을 (2)에 대입하여 정리하면 다음을 얻는다.

$$\mathbf{x}_1 B + \mathbf{x}_2 C + \dots + \mathbf{x}_{K_1} C + \mathbf{x}_{K_1+1} D = 0, \quad (4)$$

$$\mathbf{x}_{n-1} A_1 + \mathbf{x}_n A_0 = 0, n = 2, \dots, K_1, \quad (5)$$

$$\mathbf{x}_{K_1} A_1 + \mathbf{x}_{K_1+1} E = 0. \quad (6)$$

식 (5)와 (6)을 정리하면 다음을 얻는다.

$$\mathbf{x}_n = \mathbf{x}_1 R^{n-1}, \text{ for } n = 2, \dots, K_1. \quad (7)$$

$$\mathbf{x}_{K_1+1} = \mathbf{x}_1 \Omega, \text{ for } n = 2, \dots, K_1. \quad (8)$$

이때 (7)의 R 과 (8)의 Ω 는 크기가 $K_2 + 1$ 인 정방행렬로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R &= -\alpha_1 A_0^{-1}, \\ \Omega &= -\alpha_1 R^{K_1-1} E^{-1}. \end{aligned}$$

식 (7)과 (8)을 이용하여 식 (3)과 (4)를 정리하면 다음을 얻는다.

$$\mathbf{x}_1 (B + SC + \Omega D) = 0, \quad (9)$$

$$\mathbf{x}_1 (I + S + \Omega) \mathbf{e} = 1. \quad (10)$$

식 (10)의 \mathbf{e} 는 모든 원소가 1인 열벡터이다. 식 (9)와 (10)의 S 는 크기가 $K_2 + 1$ 인 정방행렬로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S &= R + \dots + R^{K_1-1} \\ &= (R - R^{K_1})(I - R)^{-1} \end{aligned}$$

식 (9)와 (10)에서 미지수가 (K_2+1) 개 이고 식이 (K_2+1) 개인 선형연립방정식을 얻는다. 선형연립방정식의 수치해를 구하면 x_1 을 얻는다. $n=2, \dots, K_1+1$ 에 대해 x_1 과 식 (7)과 (8)을 이용하면 x_n 을 모두 얻는다.

3. 수치 예제

본 논문에서는 PoI의 CMR(cache miss ratio)을 성능 척도로 이용한다[12]. CMR은 전송을 요구하는 특정 콘텐츠 패킷인 PoI가 CCN에 존재하지 않을 확률이다. CMR은 두 라우터의 캐시에 PoI가 없을 확률이므로 다음과 같다.

$$CMR = x_{(K_1+1, K_2+1)}$$

마코프체인으로 모형화한 CCN 캐싱시스템의 의사결정 변수는 라우터 i 에 PoI 요청 비율인 λ_i , PoI 이외의 다른 패킷의 요청 비율인 α_i , 그리고 라우터 i 의 캐시 크기인 K_i 이다. 여기에서 $i=1,2$ 이다. 라우터에 요청하는 패킷 중 PoI가 주된 관심사이므로 본 연구에서는 λ_i 와 α_i 의 상대적인 발생 비율인 CPR(content popularity ratio)과 캐시 크기에 따른 CMR의 변화를 수치 예로 제시한다. CPR은 전체 패킷 중 PoI의 상대적인 인기도를 의미하며 λ_i/α_i 로 정의된다. CPR이 증가할수록 CCN에 PoI에 대한 요구가 증가함을 의미한다[12].

[그림 2]는 CPR에 따른 CMR의 변화이다. 분석의 편의상 라우터 1과 2의 CPR이 같다고 가정하였다. 아울러, $K_1 = K_2 = 10$ 이고 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 이라 가정했다. CPR이 증가하면 PoI에 대한 요청이 상대적으로 증가한다. PoI에 대한 요청이 많을수록 라우터가 PoI를 보유하는 시간이 증가한다. 따라서 [그림 2]에서 CPR이 증가할수록 CMR이 감소하게 된다.

[그림 3]은 캐시 크기에 따른 CMR의 변화를 나타낸다. [그림 3]에서 K_1 과 K_2 는 라우터 1과 2의 캐시 크기이다. 아울러, $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.01$ 이고 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 이라 가정했다. 각 라우터의 캐시 크기인 K_1 과 K_2 가 증가하

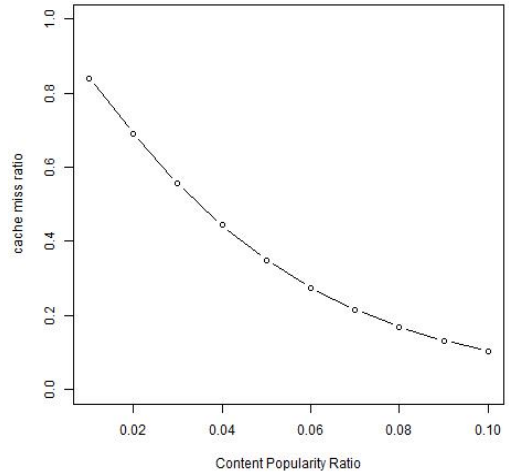


그림 2. CPR에 따른 CMR

면 PoI가 각 라우터의 캐시에 머무는 시간이 증가한다. 따라서 [그림 3]에서 K_1 과 K_2 이 증가함에 따라 CMR이 감소한다.

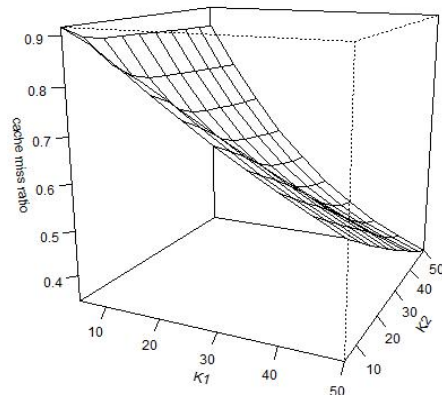


그림 3. 캐시 크기에 따른 CMR

IV. 결론

본 논문에서는 수리적인 접근방법을 이용하여 두개의 라우터로 구성된 CCN 캐싱시스템의 성능을 분석하였다. 각 라우터의 캐시에서 PoI의 위치를 이차원 연속 시간 마코프체인으로 모형화하고 전이유행렬의 구조를

분석하여 마코프체인의 안정상태 확률 및 캐싱의 성능 척도인 CMR에 대한 수치해를 유도하였다. 아울러, CPR 및 캐시 크기에 따른 CMR의 변화를 수치 예로 제시하였다.

마지막으로 본 연구의 의의, 기여 및 향후 연구 방향을 다룬다. 본 논문에서는 두 개의 라우터로 구성된 CCN의 캐싱 성능을 확률적인 상황을 고려하여 최초로 수리적 접근방법을 이용하여 분석하였다는 측면에서 학술적인 의의가 있다. 통신 분야뿐만 아니라 제조 및 유통 등의 다른 분야에서도 시스템 상태가 식 (1)과 같은 구조를 갖는 경우에는 본 연구의 분석 결과를 그대로 활용할 수 있다. 따라서 향후 본 연구 결과를 적용할 수 있는 다양한 시스템을 탐색할 계획이다. 실무적인 측면에서 본 연구 결과는 실제 CCN 시스템의 근사치 및 시뮬레이션의 초기치로 활용할 수 있다. 예를 들어, CCN의 라우터 수가 증가하면 CCN은 일반적인 사슬구조를 갖는다. 임의 라우터 경계에서 하류 라우터에 PoI 부재 시 상류 라우터에 PoI를 요청하는 방법은 동일하게 적용된다. 따라서 CCN을 크게 두 개 그룹으로 나누면 본 연구 결과를 근사치 또는 시뮬레이션 초기치로 활용할 수 있으리라 기대한다. 향후 3개 이상의 라우터로 구성된 CCN 캐싱시스템에서 라우터 2개의 분석 결과를 활용하는 재귀적이고 근사적인 방법을 탐구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 유용식, 손호중, “인터넷활용과 노인의 삶의 질과의 관계,” 한국콘텐츠학회논문지, 제12권, 제4호, pp.235-244, 2012.
 [2] 김경희, “인터넷 포털이미지가 장기지향성, 소비자 만족도 및 추천의도에 미치는 영향,” 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제8호, pp.333-340, 2009.
 [3] Y. Kim and I. Yeom, “Performance analysis of in-network caching for content-centric networking,” Computer networks, Vol.57, No.13, pp.2465-2482, 2013.

[4] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, and B. Ohlman, “A survey of information-centric networking,” IEEE Communications Magazine, Vol.50, No.7, pp.26-36, 2012.
 [5] G. Carofiglio, G. Morabito, L. Muscariello, I. Solis, and M. Varvello, “From content delivery today to information centric networking,” Computer networks, Vol.57, No.16, pp.3116-3127, 2013.
 [6] G. Xylomenos, C. N. Ververidis, V. A. Siris, N. Fotiou, C. Tsilopoulos, X. Vasilakos, and G. C. Polyzos, “A survey of information-centric networking research,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.16, No.2, pp.1024-1049, 2014.
 [7] 박홍순, 권태욱, “콘텐츠 중심 MANET을 이용한 군 통신 라우팅 기법,” 한국통신학회논문지, 제39권, 제4호, pp.334-342, 2014.
 [8] 우태희, 박홍순, 권태욱, “콘텐츠 중심 네트워크에서 정보제공자의 이동성 지원을 위한 인기도 기반 푸싱 기법,” 한국통신학회논문지, 제40권, 제1호, pp.78-87, 2015.
 [9] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. Plass, N. Briggs, and R. Braynard, “Networking named content,” In Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, pp.1-12, 2009.
 [10] 이병준, “CCN (Content-Centric Networking): 콘텐츠 중심 네트워킹 - 인터넷 주소, 이제 몰라도 된다,” 정보와 통신, 제29권, 제9호, pp.51-55, 2012.
 [11] 이병준, 전홍성, 송호영, “정보 중심 네트워킹 연구동향,” 전자통신동향분석, 제27권, 제2호, pp.80-88, 2012.
 [12] I. Psaras, R. G. Clegg, R. Landa, W. K. Chai, and G. Pavlou, “Modelling and evaluation of CCN-caching trees,” International IFIP-TC6 Networking Conference, pp.78-91, 2011.

- [13] G. Zhang, Y. Li, and T. Lin, "Caching in information centric networking: A survey," Computer networks, Vol.57, No.16, pp.3128-3141, 2013.
- [14] G. Rossini and D. Rossi, "A dive into the caching performance of Content Centric Networking," Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) 2012 IEEE 17th International Workshop, pp.17-19, 2012.
- [15] 김정임, 정희영, 박우구, "콘텐츠 중심의 네트워크 기술," 전자통신동향분석, 제25권, 제6호, pp.136-143, 2010.
- [16] Y. Xu, Y. Li, T. Lin, Z. Wang, W. Niu, H. Tang, and S. Ci, "A novel cache size optimization scheme based on manifold learning in Content Centric Networking," Journal of Network and Computer Applications, Vol.37, pp.273-281, 2014.
- [17] N. Choi, K. Guan, D. C. Kilper, and G. Atkinson, "In-network caching effect on optimal energy consumption in content-centric networking," 2012 IEEE International Conference, pp.2889-2894, 2012.
- [18] S. Imai, K. Leibnitz, and M. Murata, "Energy-Aware Cache Management for Content-Centric Networking," 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp.1623-1629, 2013.
- [19] J. Li, B. Liu, and H. Wu, "Energy-Efficient In-Network Caching for Content-Centric Networking," IEEE Communications Society, Vol.17, No.4, pp.797-800, 2013.

저 자 소 개

양 원 석(Won Seok Yang)

정회원



- 1993년 2월 : KAIST 경영과학
과 학사
 - 1995년 2월 : KAIST 경영과학
과 석사
 - 2000년 2월 : KAIST 산업공학
과 박사
 - 2000년 2월 ~ 2007년 1월 : LG U+ 차장
 - 2007년 2월 ~ 2010년 2월 : ETRI 선임연구원
 - 2010년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 경영학과 교수
- <관심분야> : 확률모형, 데이터마이닝, 생산운영관리, 통신경영, 통신정책, 기술경영, 보안경제성 분석