

D2D 캐싱 시스템에서 사용자 선호도를 고려한 인센티브 분배 기법

김대현, 김기현, 임민중
동국대학교

eoguseo@naver.com, rlsrlgus123@naver.com, minjoong@dongguk.edu

D2D Caching System with User Preference-Based Incentive Distribution Technique

Dae-hyun Kim, Ki-Hyoen Kim, Minjoong Rim
Dongguk University

요약

무선 네트워크는 커버리지 부족과 백홀 문제로 인해 모바일 트래픽의 급증을 처리하는 데 어려움을 겪고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 디바이스에 콘텐츠 캐시를 설치하고, 이를 통해 다른 디바이스에 콘텐츠를 공급하는 D2D (Device-to-Device) 캐싱 시스템을 연구하고 있다. 이런 D2D 캐싱 시스템은 통신 네트워크의 효율성을 높이고, 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 논문에서는 캐시 적중률을 높이기 위한 새로운 방법인 인센티브 개념을 도입하고 있다. 인센티브는 사용자의 행동을 유도하거나 보상하는데 사용되는 도구로, 이를 통해 사용자의 콘텐츠 요구에 더 효과적으로 응답할 수 있다. 이런 인센티브를 어떻게 캐싱과 추천 시스템에 분배할 것인지에 대해 논한다.

I. 서론

무선 네트워크는 정보와 통신 기술의 핵심 구성요소로서, 우리의 일상생활과 비즈니스, 그리고 사회 전반에 걸쳐 중요한 역할을 수행하고 있다. 하지만, 커버리지 부족과 백홀 문제로 인해 모바일 트래픽의 급증을 처리하는 데 어려움을 겪고 있어, 이를 해결하기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다[1]. 이런 문제들을 해결하기 위한 방법 중 하나로, 디바이스에 콘텐츠 캐시를 설치하고, 이를 통해 다른 디바이스에 콘텐츠를 공급하는 D2D (Device-to-Device) 캐싱 시스템이 제안되었다. D2D 캐싱 시스템은 기존의 중앙 집중식 네트워크 구조를 벗어나, 디바이스 간의 직접적인 통신을 가능하게 함으로써 통신 네트워크의 효율성을 높이고, 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 디바이스의 여유 저장 공간을 콘텐츠 캐시로 사용하는 D2D(Device-to-Device) 캐싱 시스템에서는 헬퍼라고 불리는 디바이스가, 피크 시간이 되기 전 콘텐츠를 저장하고, 피크 시간이 되어 데이터 요구량이 많을 때, 헬퍼는 주변 사용자가 요구하는 콘텐츠가 캐시에 있을 경우, D2D 통신을 이용하여 사용자에게 콘텐츠를 공급함으로써 무선 네트워크의 부담을 줄인다 [2]. 이 논문에서는 캐시 적중률을 높이기 위한 새로운 방법인 인센티브 개념을 도입하고 있다. 인센티브는 사용자의 행동을 유도하거나 보상하는데 사용되는 도구로, 이를 통해 사용자의 콘텐츠 요구에 더 효과적으로 응답할 수 있다. 이 논문에서는 이런 인센티브를 어떻게 캐싱과 추천 시스템에 분배할

것인지에 대해 논의하고 있다. 인센티브의 적절한 분배는 캐시 적중률을 높이는 데 중요한 역할을 하며, 이를 통해 D2D 캐싱 시스템의 전반적인 성능을 개선할 수 있다. 본 연구에서는 인센티브 분배 기법이 D2D 캐싱 시스템의 효율성과 성능을 향상시키는 방법에 대해 심도 있게 논의하고 있다[3]. 이런 연구를 통해 무선 네트워크의 커버리지와 백홀 문제를 해결하고, 통신 네트워크의 효율성과 사용자 경험을 향상시키는 방법에 대한 깊은 이해를 제공하려고 한다.

II. 본론

인센티브는 사용자의 행동을 유도하거나 보상하는 도구로서, D2D 캐싱 시스템에서 사용자의 콘텐츠 요구에 더욱 효과적으로 응답하는데 중요한 역할을 하고 있다. 사용자는 제공된 인센티브에 따라 특정 콘텐츠를 선택하게 되고, 이를 통해 캐시의 적중률을 높이고 시스템의 전반적인 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문은 하나의 캐시 서버를 중심으로, 서로 다른 특성과 성향을 가진 사용자들에게 인센티브를 분배하는 방식을 제안하고 있다. 이는 캐싱 시스템의 성능, 특히 캐시 적중률에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보는 것이 주목적이다. 인센티브를 사용자의 콘텐츠 요구에 따라 적절히 분배함으로써, 사용자의 행동 패턴을 이해하고 이에 빠르게 대응하려는 시도를 하고 있다.

본 논문에서는 하나의 캐시 서버 및 이에 연결된 여러 사용자 디바이스를 UE(User Equipment)라고 부른다. 캐시는 자신의 저장 영역 중 일부를 D2D 캐싱을 위해

할당하며, 다른 사용자에게 D2D 통신을 통해 데이터를 공급한다. 이 경우, 해당 작업에 대한 인센티브 제공이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 인센티브 메커니즘(incentive mechanism)을 활용하여 사용자 간의 협력과 데이터 공유를 유도한다. 캐시는 사업자로부터 제공받은 인센티브를 적절히 분배 받아 자신의 캐싱 동작을 조절하며, 이와 동시에 각 UE의 추천 시스템에도 인센티브를 분배해서 변화시킨다. 이는 Device-to-Device (D2D) 통신의 효율성을 높이기 위한 전략이다.

전체 콘텐츠의 수가 K 개이고 본 실험에서 제안하는 방법은 캐시 인센티브를 β 로 하고 추천 시스템 인센티브는 $1 - \beta$ 라고 하며 추천과 개인화된 추천의 비율 조절 파라미터를 α 라고 가정한다. 사용자가 실제로 항목을 확인할 확률 γ 값은 사용자가 실제로 항목을 확인할 확률로 설정되며 $\gamma = 0.6$ 로 가정한다. Δ 값은 인센티브에 대한 사용자의 반응성을 나타내는 요소이다.

캐시에 할당된 인센티브 β 값은 ($0 \leq \beta \leq 1$) 사이에서 변동하며, β 값에 따라 캐시 크기도 변동한다. 인센티브와 추가된 데이터 사용료 간의 균형점에서 결정된다. βN_{cache} 여기서 N_{cache} 은 캐시 용량으로 가정한다. 인센티브의 총량은 정해두고, 캐싱과 추천시스템의 인센티브 합은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^i \beta_j = 1 \quad (1)$$

여기서 앞부분 αK 는 공통으로 추천하는 부분이고 뒷부분 $(1 - \beta)(1 - \alpha)K$ 은 인센티브를 고려한 개인화된 추천하는 부분을 나타낸다. 마지막으로, 최종적인 캐시 적중률 P 는 다음 수식으로 계산되었다.

$$P = \Delta \gamma \frac{\min(\beta_1 N_{cache}, \alpha K + \beta_i (1 - \beta)(1 - \alpha)K)}{K} \quad (2)$$

위 식에서 \min 함수는 캐싱 된 항목 수와 추천된 항목 수 중 작은 값을 선택하는 역할을 한다. 이를 통해 시스템이 처리할 수 있는 최대 항목 수를 초과하지 않도록 제한한다. 따라서 본 연구에서 제안하는 인센티브 분배 전략은 β 와 α 값을 조절하여 자원 활용 및 개인화 정도를 균형 있게 조정함으로써 캐시와 추천 시스템의 성능 향상에 기여할 것으로 기대된다.

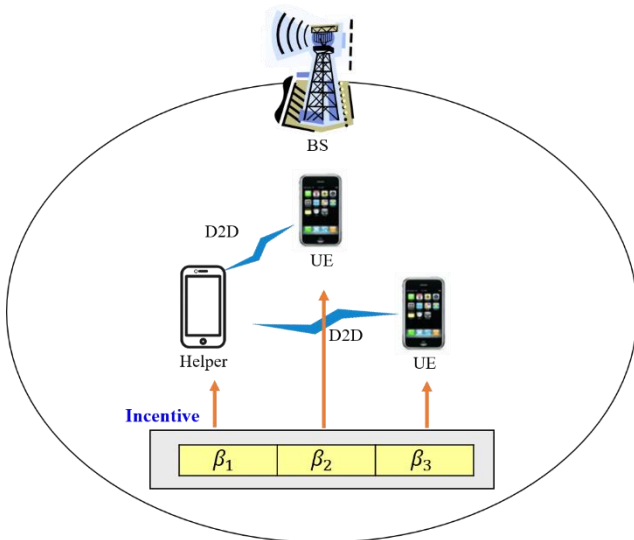


그림 1. 인센티브를 캐싱 및 추천시스템에 분배

실험에서는 추천된 항목 수 K 가 500개일 때, 캐시 크기 N_{cache} 가 2000 이고 α 는 0.6 일 경우 캐싱과 추천 시스템 각각에 대한 B 값과 캐시적중률을 계산하였다. 이러한 가정 하에 인센티브 분배 전략에 따른 시스템 성능 변화를 관찰하였다. 실험 결과를 보면 Δ 값은 중요한 역할을 했는데 Δ 값이 높으면 사용자는 인센티브에 강하게 반응하고, 이는 시스템 성능에 긍정적인 영향을 줄 수 있었다. 반대로 값이 낮으면 인센티브에 대한 반응이 둔화되어, 시스템 성능에 부정적인 영향을 줄 수 있었다. 이를 통해, 인센티브 분배 전략에서 α , β 값뿐만 아니라 Δ 값도 중요한 요소라는 것을 알 수 있었다. 인센티브에 대한 반응성을 설명하고, 이를 적절히 조절함으로써 인센티브 관리 전략을 효과적으로 운영할 수 있다는 것을 보여줬다. 그림 1 은 두 디바이스의 선호도가 다를 때 인센티브 분배 같다고 가정할 때의 각각의 인센티브 파라미터 β 의 변함에 따른 캐시 적중률을 나타내고 있다.

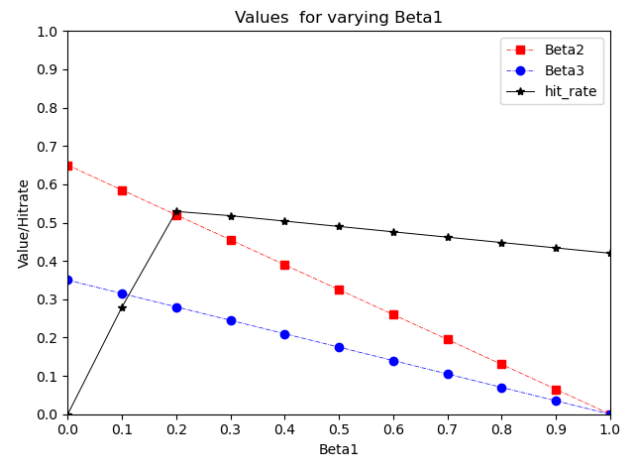


그림 2. 두 디바이스의 선호도가 다를 때 인센티브 분배

III. 결론

본 논문에서는 새로운 캐시 관리 전략을 제안하였다. 이를 통해 캐시 적중률과 데이터 액세스 속도 간의 균형을 유지하면서 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있었다. 실험 결과를 통해 제안한 전략이 효과적임을 입증하였으며, 본 연구에서는 제안된 전략은 사용자 경험과 시스템 성능 간의 균형을 더욱 향상시킬 수 있음을 보여주었다. 앞으로 이런 연구가 계속되면서 보다 정교한 알고리즘과 메커니즘이 발전됨에 따라, 캐시 관리 전략은 더욱 발전할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022R1F1A1062987).

참고 문헌

- [1] 임민중, 김대현, 마이크로 D2D 캐싱 시스템에서의 디바이스에게 인센티브를 제공하는 방법, 한국통신학회 추계학술대회 2023.
- [2] Dongsheng Zheng, Yingyang Chen et al., "Cooperative Cache-Aware Recommendation System for Multiple Internet Content Providers" IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9, No. 12, December 2020
- [3] M. Rim and C.G. Kang, "Content Prefetching of Mobile Caching Devices in Cooperative D2D Communication Systems," IEEE Access, vol.8, pp.141331-141341, August 2020.