

차량 클라우드 환경에서 블룸 필터를 이용한 계층적 하이브리드 콘텐츠 전송 방법의 설계 및 평가

배 인 한[†]

Design and Evaluation of a Hierarchical Hybrid Content Delivery Scheme using Bloom Filter in Vehicular Cloud Environments

Ihn-Han Bae[†]

ABSTRACT

Recently, a number of solutions were proposed to address the challenges and issues of vehicular networks. Vehicular Cloud Computing (VCC) is one of the solutions. The vehicular cloud computing is a new hybrid technology that has a remarkable impact on traffic management and road safety by instantly using vehicular resources. In this paper, we study an important vehicular cloud service, content-based delivery, that allows future vehicular cloud applications to store, share and search data totally within the cloud. We design a VCC-based system architecture for efficient sharing of vehicular contents, and propose a Hierarchical Hybrid Content Delivery scheme using Bloom Filter (H^2CDBF) for efficient vehicular content delivery in Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). The performance of the proposed H^2CDBF is evaluated through an analytical model, and is compared to the proactive content discovery scheme, Bloom-Filter Routing (BFR).

Key words: Bloom Filter, Content-based Delivery, Location-dependent Data, VANET, Vehicular Cloud

1. 서 론

최근 자동차 산업에서는 차량 서비스를 위한 프레임워크로 차량 클라우드 컴퓨팅 (VCC, Vehicular Cloud Computing)이 제안되었다. 인터넷 클라우드와 유사하게, VCC는 안전운행으로부터 온로드 연에까지 다양한 응용, 라이브 비디오 스트리밍, 인터넷 액세스, 도심 감시 그리고 온라인 게임을 위한 통신, 저장장치, 컴퓨팅과 같은 다양한 서비스들을 제공할 것이다. VCC의 구조는 3가지 계층: 차량 내부, 통신 그리고 클라우드를 필요로 한다. 첫 번째 계층은 신체 센서, 환경 센서, 스마트폰 센서, 차량 내부 센서 등을 사용하여 운전자의 건강과 기분을 감시하고 압력과 온도와 같은 차 내부의 정보를 수집한다.

그리고 센서를 통하여 수집된 정보는 응용 계층이 있는 다양한 소프트웨어 프로그램의 입력으로 보관하거나 사용을 위하여 클라우드로 전송되어야 한다. 각 차량은 지도와 노변장치 (RSU, Road Side Unit)와 노변버퍼 (RSB, Road Side Buffer)의 위치를 제공하는 내장 네비게이션 시스템을 포함하는 차량탑재장치 (OBU, On Board Unit)를 장착하고 있다고 가정한다. 그 OBU는 3G 또는 4G 셀룰러 통신 장비, Wi-Fi, WiMAX, WAVE, DSRC (Dedicated Short Range Communication)를 통해 데이터를 전송하기 위한 광대역 무선 통신 시스템을 가지고 있다. 이 구조의 두 번째 계층은 2 부분: DSRC를 통한 차량 간 (V2V, Vehicular-to-Vehicular), 차량과 기반구조 간 (V2I, Vehicular-to-Infrastructure) 통신을 포함

※ Corresponding Author : Ihn-Han Bae, Address: (18430) Hayang-ro 13-13, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk, Korea, TEL : +82-53-850-2742, FAX : +82-53-850-

2750, E-mail : ihbae@cu.ac.kr

Receipt date : Jul. 25, 2016, Approval date : Aug. 10, 2016

[†] School of IT Eng., Catholic University of Daegu

한다. V2V 통신은 데이터 전송을 위한 멀티-홉 통신이고, V2I 통신은 RSU가 통신 범위내의 차량들에게 메시지를 방송하는 단일-홉 통신을 사용한다. VCC 구조의 마지막 계층인 클라우드 계층은 3가지 내부 계층들: 응용, 클라우드 기반구조, 그리고 클라우드 플랫폼으로 구성되어진다. 응용 계층의 다양한 응용들과 서비스들은 운전자에 의해 원격으로 접근할 수 있는 실시간 서비스들이거나 클라우드 기반 서비스들이다[1, 2].

최근에 콘텐츠-기반 네트워킹 (CBN, Content-Based Networking)이 콘텐츠 검색을 위한 방법으로 많은 관심을 끌고 있다. 콘텐츠-기반 통신은 송신자로부터 수신자까지 메시지 흐름이 송신자에 의해 할당되고, 그 메시지에 첨부된 명시적 주소에 의해서 보다 메시지 콘텐츠의 내용에 의해 작동되는 통신 서비스이다. 다수의 독자적인 CBN 설계가 존재하지만 모든 설계들은 공통적인 속성들: ① 수신자-지향 체크 기반 전송, ② 인-네트워크 체크 단위 캐싱, ③ 이름-기반 전달, 그리고 ④ 유일하게 식별 가능한 콘텐츠 네이밍을 갖는다. 직관적으로 캐싱은 매우 유동적인 차량 시나리오에 유익하다. CBN의 주요 설계 문제는 콘텐츠 발견과 요청 전송이다. 콘텐츠 소비자가 보낸 요청의 전송 지연은 시간 민감형 데이터 검색에서 특히 콘텐츠 생산자가 이동할 때 중요하다. 전송 지연을 줄이기 위한 2가지 일반적인 방법은 자주 라우팅을 갱신하는 사전형 방법과 콘텐츠를 복제하는 반응형 방법이 있다. 그러나 두 해결책은 VANET에서 역효과를 낼 수 있다. 라우팅 갱신 오버헤드는 높은 이동성에서 과도해질 수 있고, 콘텐츠 복제는 큰 또는 실시간 데이터를 대상으로 실현 불가능할 수도 있다[3, 4].

클라우드 응용 계층의 안전운행, 공공 서비스, 비즈니스/연예와 관련된 콘텐츠들뿐만 아니라 교통 혼잡정보, 교통사고의 사진과 비디오 스트리밍 파일 등과 같은 지역의 실시간 콘텐츠들은 차량들 간에 공유될 수 있다. 특히 위치-의존 콘텐츠들은 운전자가 운전계획을 세우거나 조정하는데 유용하다. 따라서 본 논문에서는 차량들이 이러한 차량 콘텐츠들을 효율적으로 공유할 수 있는 VCC 기반 시스템 구조를 설계하고, 그리고 설계된 시스템에서 작동하는 콘텐츠 전송 방법인 H^2CDBF 을 제안한다. H^2CDBF 에서는 콘텐츠의 인기도, 지역성, 실시간성, 공유가

능성 등과 같은 콘텐츠 특성에 기반하여 사전형, 반응형, 계획적 전달(운반 전달) 라우팅을 적응적으로 실행하는 하이브리드 콘텐츠 전송 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 차량 콘텐츠 전송에 사용된 블룸필터와 콘텐츠 기반 네트워킹 기술들과 차량 콘텐츠 전송에 대한 관련 연구들을 살펴보고, 3장에서 효율적인 차량 콘텐츠 공유를 위한 VCC 기반 시스템 구조를 설계하고, VANETs를 위한 효율적인 차량 콘텐츠 전송 방법인 H^2CDBF 을 제안한다. 그리고 4장에서 제안하는 H^2CDBF 의 성능을 분석적 모델로 평가하고, 그것의 성능을 차량 클라우드 기반 콘텐츠 라우팅 기법인 BFR (Bloom Filter Routing)과 비교한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론과 향후연구 과제에 대하여 설명한다.

2. 관련연구

2장에서는 제안하는 H^2CDBF 방법에서 사용하는 차량 콘텐츠가 어떤 분할 지역에 속하는지 여부를 검사하는데 사용되는 확률적 자료 구조인 블룸필터와 콘텐츠의 이름을 사용하여 네트워킹에서 콘텐츠 전달을 수행하는 콘텐츠 기반 네트워킹에 대하여 간략히 설명하고, 그리고 VANET에서 위치-의존 데이터 전달 방법을 포함한 차량 콘텐츠 전송 방법에 대한 관련 연구들을 살펴본다.

2.1 블룸필터

블룸필터는 구성원 정보 질의 (membership query)를 위하여 집합 표현을 위한 간단한 공간 효율적 무작위 자료구조이다. 블룸필터는 어떤 원소가 집합의 일부인지를 정확하게 식별할 것이다. 그러나 약간의 거짓 긍정 응답을 생성할 수도 있다. 블룸필터의 매개변수들이 적절히 선택되어지면 거짓 긍정의 확률은 매우 낮다고 알려져 있다. 따라서 블룸필터는 원소들의 거대한 집합이 관리되어야 하고 작은 비율의 거짓 긍정 응답이 문제가 되지 않는 응용들을 위하여 권장되고 있다[5].

블룸필터 정의를 위한 수학적인 배경은 다음과 같다. n 원소들의 집합 $S = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 가 존재하고, 그것의 블룸필터는 다음과 같은 방법으로 0 또는 1로 설정되는 m 비트들의 배열이다. 초기에 헤시 영역의 모든 m 비트들은 0으로 설정된다. 블룸필터

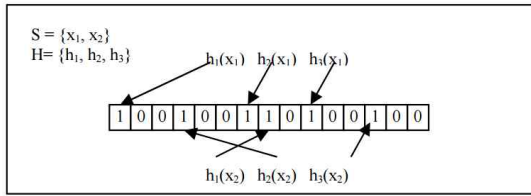


Fig. 1. Example of a Bloom Filter [5].

는 범위 $\{1, 2, \dots, m\}$ 을 갖는 k 개의 독립 해시함수 h_1, h_2, \dots, h_k 를 가지고, 그 해시함수들을 집합 S 의 각 원소에 적용한다. 따라서 각 요소 $x_i \in S$ 에 대해, $h_1(x_i), h_2(x_i), \dots, h_k(x_i)$ 위치들에 대응하는 비트들은 1로 설정된다. 동일한 비트는 제한 없이 여러 번 세트될 수 있다. Fig. 1은 2개의 원소들을 포함하는 집합 S 의 블룸필터를 보여준다.

어떤 원소들을 삽입한 후, 구성원 정보 질의는 쉽게 실행될 수 있다. 어떤 원소 x 가 S 에 속하는지를 검사하기 위하여 $h_1(x), h_2(x), \dots, h_k(x)$ 위치들에 대응하는 배열의 비트들이 모두 1로 설정되었는지를 검사한다. 만일 최소한 하나의 비트가 0이면 확실히 $x \notin S$ 이고, 아니면 높은 확률로 $x \in S$ 이다.

2.2 콘텐츠 전송 네트워크

현재 인터넷 데이터 서비스는 웹 페이지와 같은 수백만 사용자가 동일한 서비스를 요구하는 동일한 데이터라는 특징을 가진다. 이에 비해, 현재 인터넷 전송 방법은 데이터가 무엇이든 상관없이 송수신 호스트의 IP 주소를 이용하여 서비스를 제공하므로 동일한 데이터들이 네트워크상의 사용자 수만큼 반복 전송되는 방식으로 동작하고 있어 비효율성이 있다. 이러한 데이터 반복 전송의 비효율성을 피하기 위하여 데이터 배포 개념을 도입한 콘텐츠 전송 네트워크(CDN, Content Delivery Network) 기술이 제안되었다[6].

콘텐츠 기반 통신은 송신자로부터 수신자로의 메시지의 흐름이 송신자에 의해 지정되고, 그 메시지에 부착된 분명한 주소 보다 메시지 내용에 의해 처리되는 통신 서비스이다. 콘텐츠 기반 통신 서비스를 사용하여 송신자가 콘텐츠를 발행할 때 수신자는 선택 술어(selection predicate)를 이용하여 수신자의 관심을 선언한다. 그 서비스는 수신자들에 의해 선언된 선택 술어와 일치하는 콘텐츠를 수신자들에

게 전달한다[3].

CDN은 통신 링크로 연결된 클라이언트 노드들과 라우터 노드들로 구성된 지점 간 응용 계층 오버레이이다. CDN은 메시지를 비 연결형으로 사실상 최선형(best-effort)으로 전달하기 위하여 메시지를 받아들인다. 콘텐츠 생성자가 반드시 데이터를 전송한다는 제한을 두지 않는, 데이터를 갖고 있는 임의의 노드도 데이터를 배포할 수 있게 함으로써, 빠른 서비스와 같은 데이터가 네트워크에 반복되어 전송되는 횟수를 줄이는 장점이 있다. CDN은 뉴스 배포, 이벤트 공지, 시스템 감시와 관리, 네트워크 침입 탐지, 서비스 발견, 데이터 공유, 분산 전자 경매, 그리고 분산 게임 등을 포함하는 다양한 응용 영역에 아주 적합하다[3].

CDN은 다음과 같은 일반적인 기능을 포함한다.

- 혼잡을 피하는 기법을 사용하여 어떤 요청을 가장 가까운 대리 서버(surrogate server)로 향하게 하는 요청 재설정과 콘텐츠 전송 서비스
- 각 개인 사용자 또는 사용자 그룹의 특정 요구를 만족시키기 위한 콘텐츠 협상 서비스
- 망 구성요소들을 관리, 계정 처리, 그리고 콘텐츠 사용에 대한 감시와 보고를 위한 관리 서비스

CDN은 콘텐츠 요청이 갑자기 늘어나는 문제를 처리하기 위하여 정책적으로 다양한 위치에 배치된 다수의 미리 서버들에 콘텐츠를 캐싱하고 복제하여 더 나은 성능을 제공한다. 사용자 요청은 가장 가까운 대리 서버로 재설정된다. 이 방법은 사용자 요청 응답시간에서 네트워크 영향을 줄이는데 도움을 준다.

콘텐츠 분산과 관리는 효율적인 콘텐츠 전송과 전체 성능을 위하여 CDN에서 전략적으로 중요하다. 콘텐츠 분산은 다음 사항들을 포함한다.

- 다수의 전략적 위치에 대리 서버들을 배치하기 때문에 가장자리 서버들은 클라이언트들에 근접해 있다.
- 특정 사용자 요청의 종류와 빈도에 기초한 콘텐츠의 선택과 전송
- 아웃소싱 방법론을 결정하기 위한 콘텐츠 아웃소싱

콘텐츠 관리는 캐싱 기법, 캐시 관리 그리고 캐시 갱신과 같은 캐시 구성을 위한 기법들에 크게 의존

한다[7].

분산 CDN 구성요소들 간의 협동은 동종과 이종 환경에 있는 노드들에서 발생할 수 있다. CDN은 다양한 형태와 구조를 가질 수 있다. 그것들은 어떤 관리 제어 하에서 집중형, 계층형 기반구조, 또는 완전한 분산 시스템일 수 있다. 분산 CDN에는 다른 CDN 개체들 간의 연동과 제어 공유의 다양한 형태가 있을 수도 있다.

2.3 차량 콘텐츠 전송

콘텐츠 전송은 VANET 응용들을 위한 중요한 요구이고 기반구조 통신만을 사용하는 것이 적절치 않다는 것을 고려하면, 차량들을 CDN으로 구성하는 것은 유망한 계획이다. CDN의 목적은 클라이언트들 근처에 콘텐츠를 유지하기 위하여 콘텐츠 사본을 대리 서버에 분산하는 것이다. VANET 시나리오에서, 다수의 차량들은 V2I 사용 보다 저렴한 V2V 통신을 사용하여 인근의 잠재적인 클라이언트들에게 콘텐츠 전송을 위한 일시적인 콘텐츠 제공자로 선택될 수 있다. 아울러, 이것은 네트워크 액세스와 서버 오프로드뿐만 아니라 더 작은 응답시간과 대역폭 소비로 이어질 수 있다.

CDN은 VANET 응용들을 위하여 고품질 저비용 콘텐츠 전송을 허용함으로써 중요한 역할을 할 것이다. 전체 CDN 시스템은 2가지 기본 요소: 사본 할당과 콘텐츠 전송으로 구성된다. CDN 해결책들은 사본 할당과 콘텐츠 전송의 구조 특성에 따라 Fig. 2와 같이 분류되어진다[8].

최근에 차량 콘텐츠 전송 네트워크에 대한 다소

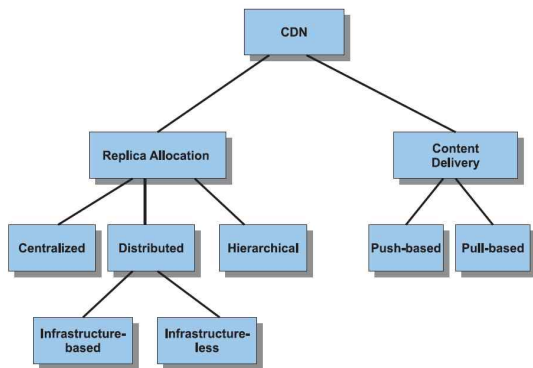


Fig. 2. CDN categories from the architecture perspective [8].

의 연구들이 있었다. Yamanaka 등은 도시 지역에서 서버 없이 차량 애드혹 네트워크의 위치 의존 데이터의 사본을 분산하는 RSC (Road-aware Skip Copy) [9] 방법을 제안하였다. 여기서 이동 노드들은 작은 횡수의 방송으로 많은 노드들에게 사본을 분산하기 위하여 가까운 교차로에서 데이터 항목을 방송하고, 저장 공간을 절약하기 위하여 소스 노드로부터 홉 카운트로 사본의 소유자 수를 제한하였다.

Okamoto 등은 신뢰할 수 있는 메시지 전송과 메시지 전달을 위한 트래픽의 균형을 맞추기 위하여 푸시 (push) 방법과 풀 (pull) 방법을 사용하여 차량에 의해 생성된 위치 의존 데이터 항목을 위한 정보 공유 방법인 APAM (Assigning Populated Area as Message Storage Area) [10]과 기반구조 네트워크에 연결되지 않은 소수의 고정 노드들을 활용하는 SOLA-FX (Sharing Objects with Location Information on Ad hoc Network Fixed Node eXtention) [11]을 각각 제안하였다. APAM에서, 위치 의존 데이터 항목의 사본은 발생지 주변과 차량 밀도가 높은 큰길에 분산되고, 위치 의존 데이터에 대한 요청은 각 차량들로부터 많은 차량들이 있는 도로를 따라 적절한 위치로 전송된다. 만일 메시지를 수신할 이웃 차량이 없다면, 그 차량은 운반 전송 (carry-and-forward) 방법으로 그 메시지를 전송한다. SOLA-FX에서, 고정 노드들은 차량들에 의해 생성된 위치 의존 데이터의 저장과 분산, 그리고 요청/응답 메시지의 전송을 지원하기 위하여 요청 생성 지역과 데이터 생성 지역의 교차로에 위치되어진다.

Nakamura 등은 차량들이 위치 의존 데이터가 생성된 도로 위치로부터 몇 블록 내에 존재하는 도로 세그먼트들로 구성된 기본 전파 지역 외에 그 데이터 항목에 대한 요구에 따라 조정되는 추가 전파 지역에 그 데이터 항목의 사본을 분산시키는 Live VANET CDN [12]을 제안하였다.

Luan 등은 도시 지역에서 지역 콘텐츠 발행/구독을 가능케 하는 자율적인 비용 효율적 기반구조인 VTube [13]를 제안하였다. VTube는 모바일 사용자들을 위한 콘텐츠를 캐시하고 발행하기 위하여 백화점, 박물관, 카페테리아 등과 같은 도시 시설에 설치되는 분산 저비용 경량 저장 버퍼인 노변버퍼에 의존한다.

Bae는 MANET을 논리적 계층구조로 구성하고,

블룸필터를 사용하여 서비스를 멀티캐스트하고, 효율적으로 광고하고 발견하는 대형 MANET을 위한 블룸필터를 사용한 계층적 서비스 관리 방법을 제안하였다[14].

Yu 등은 콘텐츠 기반 차량 클라우드에서 콘텐츠 발견과 전송의 중요한 문제들을 살펴보고, 이동성과 큰 콘텐츠 증가 문제를 해결하기 위하여 인기 있는 콘텐츠를 위한 사전형 콘텐츠 발견 방법인 BFR (Bloom-Filter Routing) [15, 16]을 소개하였다.

3. H²CDBF 설계

VANET 패러다임은 간단한 경고 메시지로부터 연예, 정보, 광고를 위해 사용되는 콘텐츠 전송 요구 사항을 갖는 고급 응용으로 진화하고 있다. 연예 응용에서, 비디오, 음악, 웹 페이지 등을 포함하는 다양한 종류의 미디어 콘텐츠들은 여행 중에 승차한 사용자들에게 전송되어진다. 정보 시스템에서, 전달된 콘텐츠는 뉴스, 날씨와 교통정보, 도로상태, 그리고 사용자들을 관심이 될 수 있는 다른 정보들을 전송한다. 연예에서, 응용과 사용자는 경로 상의 식당들과 호텔들, 그리고 최종 목적지의 주차장과 호텔들에 관한 광고를 수신한다. 그러한 응용의 콘텐츠 소스는 VANET 바깥, 인터넷 상에 위치된다. 외부 소스 응용에 덧붙여, VANET 내부 소스를 갖는 다른 범주의 응용들이 있다. 다양한 센서들을 장착한 차량은 정보를 수집할 수 있고, 그것을 다른 차량들에게 전송한다. 예를 들어, VANET을 사용하여 교통 체증정보, 교통사고 사진, 차량내의 센서들과 카메라로부터의 위치 의존 데이터, 비디오 스트리밍 파일 등과 같은 콘텐츠는 다른 차량들에게 전송되어야 한다. 이러한 차량 콘텐츠가 기반구조 통신을 통해서만 공유되어진다면 VANETs에서 많은 문제가 발생할 수 있다. 많은 차량들이 차량 콘텐츠들을 수신하기 때문에 접속망은 과부하 될 수 있고, 서버들 역시 다수의 요청에 응답을 해야 하기 때문에 과부하 될 수 있다. 그러한 과부하 된 자원들은 긴 응답시간, 혼잡, 패킷분실, 결국 사용자의 저품질 경험을 야기할 수 있다[8].

차량 콘텐츠 전송이 VANET 응용들을 위한 중요한 요구이고 기반구조 통신만을 사용하는 것이 적절치 않다면, 차량들을 CDN으로 구성하는 것은 좋은 계획이다. CDN의 목적은 클라이언트 근처에 콘텐

트를 보유하기 위하여 콘텐츠 사본들을 대리 서버들에 분산시키는 것이다. VANET 시나리오에서, 다수의 차량들은 V2I 사용 보다 비용이 효율적인 V2V 통신을 사용하여 가까이에 있는 잠재적인 클라이언트들에게 콘텐츠를 전송하는 역할을 하는 일시적인 콘텐츠 제공자로 선택될 수 있다. 이 방법은 접속망과 서버 오프로드뿐만 아니라 낮은 응답시간과 대역폭 소비로 이어질 수도 있다.

제안하는 H²CDBF는 Fig. 3과 같이 기반구조 망과 애드혹 망으로 구성된 시스템 상에서 차량 콘텐츠 사본들을 논리적 계층구조로 구성된 차량들과 기반구조들에 분산시킨다. 또한 차량 콘텐츠를 분산시킬 때, 그 콘텐츠의 특성: 인기도, 지역성, 실시간성, 공유가능성 등을 고려하여 계층구조의 적절한 위치에 사본들을 배치시킨다. 그리고 차량 콘텐츠 아웃소싱에 푸시 기반 방법과 풀 기반 방법을 사용한다. 따라서 H²CDBF는 CDN 범주 (Fig. 2)에서 하이브리드 형태에 속하는 콘텐츠 전송 네트워크이다.

제안하는 H²CDBF를 효율적으로 지원하는 전체 시스템은 OBU를 장착한 이동 노드인 차량, 기반구조인 VCC와 연결되고 간선도로에 따라 배치되는 고정노드인 RSU, RSU와 연결되고 지선도로의 가게, 카페 등에 설치되는 분산 저비용 경량 저장 버퍼

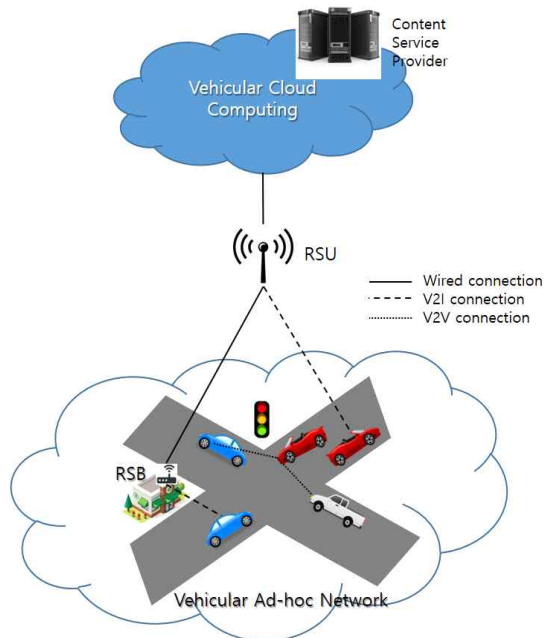


Fig. 3. Entire system architecture for supporting H²CDBF.

인 RSB, 그리고 내부 3가지 계층: 응용, 클라우드 인프라, 그리고 클라우드 플랫폼으로 구성된 기반구조인 VCC로 구성된다.

차량 콘텐츠는 VCC의 응용 계층의 실시간 응용 서비스 또는 클라우드 기본 응용 서비스에 속한다. 운전자에 의해 원격으로 접근할 수 있는 연료 피드백, 운전자 헬스케어 감시, 운전자 행동 인식, 실시간 교통 감시 등은 실시간 응용 서비스로 간주된다. 기본 서비스에는 STaaS (Storage as a Service), CaaS (Cooperation as a Service), INaaS (Information as a Service), 그리고 ENaaS (Entertainment as a Service) 등과 같은 다양한 서비스들이 배치되어진다[1].

RSU의 주요 기능은 다른 RSU들로 정보를 전송하고 그 정보를 다른 차량들에게 재분배하여 애드혹망의 통신 범위를 확장하고, 그리고 IV2 사용의 도움으로 교량주의 경고, 교통사고 경고 또는 작업구간과 같은 안전 응용과 정보 소스로서 역할을 수행한다.

RSB는 지선도로에 배치된 기반구조이고 운행하는 차량과 통신을 위하여 무선 인터페이스가 장착되어 있다. RSB는 이동 사용자들(차량들)을 위하여 콘텐츠를 캐시하고 발행하고, 운행하는 차량들에게 콘텐츠 파일들을 분산하고, 그리고 VANETs를 이용하여 콘텐츠를 도시 내의 다른 RSB들과 차량들에게 확산시킬 수도 있다[13].

RSB와 RSU는 유·무선 통신 기능을 가지고 있다. OBU들은 애드혹 방식으로 다른 OBU, RSF, 그리고 RSU와 통신한다. 그리고 VANET은 빠르게 변하는 통신 환경에 적합한 데이터 전송을 지원하는 DSRC와 같은 고급 무선 기술을 사용한다.

3.1 차량 콘텐츠 사본 할당

차량들이 VANET 내의 차량 콘텐츠 공유를 고려하면, 노드들의 이동성에 의해 발생하는 링크 단절에 기인하여 다른 차량에 있는 데이터에 대한 접근성을 유지하는 것은 어렵다. 우리는 이 문제를 완화시키기 위하여 데이터 항목들의 사본들을 다른 노드들에 분산하고 다수의 노드들이 그 사본을 공유하게 만드는 기법인 H²CDBF를 설계한다.

VANET 내의 다수의 RSUs에 차량 콘텐츠 사본들을 배치하고, 그러한 차량 콘텐츠들은 그 RSUs로

부터 관심지역을 지나가는 차량들로 다운로드 되어진다. H²CDBF 방법에서는 차량 콘텐츠 속성: 인기도, 지역성, 시간 민감성 등에 의한 분류에 따라 차량 콘텐츠를 방송하거나 운반하는 차량이 전송하여 또는 논리적 계층적 구조로 구성된 RSUs에 차량 콘텐츠를 사전형 또는 반응형으로 사본을 만들고, 그리고 블룸 필터를 사용하여 해당 콘텐츠를 질의하고 전달하여 차량들 간에 콘텐츠를 공유한다.

따라서 H²CDBF에서는 차량들 간에 공유 가능한 차량 콘텐츠를 인기도, 지역성, 시간 민감성에 따라 다음과 같이 6가지 범주로 분류한다.

- 인기 있거나 시간에 민감한 공유 가능한 차량 콘텐츠 (유형 A): 그러한 콘텐츠는 일반적으로 최소한 어떤 지리적 범위내의 모든 사용자에게 액세스 가능하고, 중계하는 노드에 캐시 될 수 있을 만큼 작다. 차량 관련 일반 수칙, 긴급 공지, 지도 서비스 등에 대한 콘텐츠들이 이 범주에 속한다. 파일 크기가 작고 공유가능하면, 그러한 콘텐츠들은 대부분 차량에 의해 캐시 될 수 있다. 따라서 이 범주의 콘텐츠를 위하여 반응형 라우팅이 가장 적합한 라우팅 기법이다. 유형 A의 콘텐츠들은 지역성이 있으면 유형 A1로, 아니면 유형 A2로 더 분류한다.

- 인기 있고 공유 또는 캐시 할 수 없는 차량 콘텐츠 (유형 B): 이 유형은 공유할 수 없거나 캐시 할 수 없는 데이터를 생성하는 인기 있는 콘텐츠를 가리킨다. 접근이 제한된 명령과 극비 정보와 같은 콘텐츠는 사생활 침해와 보안 위협을 제기하고 공유할 수도 없다. 사생활 제한 또는 큰 크기 때문에 캐시 될 수 없는 인기 있는 지연 민감형 데이터에 대해, 지연을 줄이고 검색 트래픽 오버헤드를 줄이기 위하여 차량들에게 사전에 경로를 알리는 것은 가치가 있는 좋은 방법이다. 유형 B의 콘텐츠들은 시간 민감성이 있으면 B1로, 아니면 B2로 더 분류한다.

- 인기 없는 차량 콘텐츠 (유형 C): 인기 없는 데이터의 예는 개인 메시지이다. 인기 없는 콘텐츠에 대해, 인-네트워크 저장장치 크기가 제한되므로 그 콘텐츠는 네트워크에 오래 캐시 되지 않을 것이다. 지연 허용 응용들에서, 경로구축 및 유지비용을 줄이기 위하여 기회적 전송이 사용될 수 있다. 그러나 만일 데이터가 시간 민감성이 있으면 반응형 라우팅이 유일한 선택이다. 유형 C의 콘텐츠들은 시간 민감성이 있으면 C1로, 아니면 C2로 더 분류한다.

콘텐츠 기반 네트워크에서, 노드는 할당되는 유일한 네트워크 주소도 아니고, 어떤 특정 주소로 전송되는 콘텐츠도 아니다. 대신, 각 노드는 그 노드의 관심 콘텐츠를 정의한 술어를 광고한다. 콘텐츠 기반 서비스는 어떤 콘텐츠를 그 콘텐츠와 일치하는 술어를 광고한 모든 클라이언트 노드들에게 전송한다.

H²CDBF에서, 도심 지도는 지리적 분할들로 계층적으로 구성되고, 차량들은 마찬가지로 대응하는 클러스터들로 분할되어진다. 차량들은 GPS가 장착되어 있어 그것들이 속한 분할을 안다. Fig. 4는 격자 위상에 적합한 4-단계 직사각형 분할의 예를 보여준다. VANET의 정방형 지역 A가 주어지면, 그 위상을 N 개의 논리적 단위 지역(셀)들로 나눈다. Fig. 4와 같은 논리적 격자구조에서 단위지역을 4-차 지역이라 두면, 3-차 지역을 형성하기 위하여 k^2 개의 단위지역을 조합하고, 2-차 지역을 형성하기 위하여 k^2 개의 단위 지역들을 조합하고, 그리고 1-차 지역을 형성하기 위하여 k^2 개의 단위 지역들을 조합하여 계층 구조를 형성한다.

각 노드는 거의 같은 개수의 노드들을 3-차 지역의 각 단위 지역으로 사상하는 함수 F_1 을 통하여 각 3-차 지역에 있는 하나의 차량 콘텐츠 서비스 지역을 지정한다. 그리고 각 노드는 거의 같은 개수의 노드들을 2-차 지역 내의 각 3-차 지역으로 사상하는 함수 F_2 를 통하여 각 3-차 지역내의 하나의 차량 콘텐츠 서비스 지역을 지정한다. 차량 콘텐츠 관리를 위하여 3-차 지역의 차량 콘텐츠 서비스 지역에는 RSB가 존재하고, 2-차 지역의 차량 콘텐츠 서비스 지역에는 RSU가 존재하고, 그리고 1-차 지역의 차

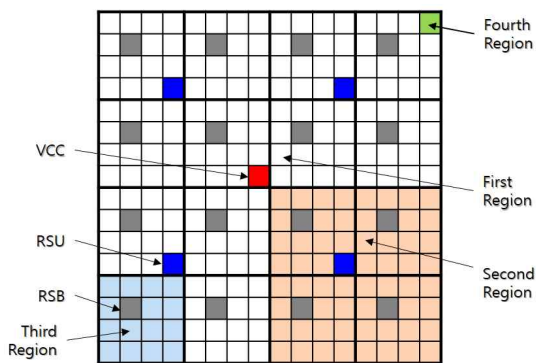


Fig. 4. Logical grid hierarchy of a VANET for H²CDBF.

량 콘텐츠 서비스 지역에는 VCC가 존재한다고 가정한다.

RSB는 차량에 의하여 생성된 위치 의존 차량 콘텐츠의 저장과 분산, 그리고 요청 또는 응답 메시지 전송을 지원하기 위하여 신호등에서 기다리는 차량들 때문에 차량 밀도가 높은 지선도로의 교차로에 있는 상점, 카페 등에 설치되어진다. 그리고 RSB들은 인터넷과 같은 고정된 네트워크 기반구조와 연결되지 않는다. 차량들은 Fig. 5(a)와 같은 위치 의존 차량 콘텐츠의 메시지 패킷을 멀티 홉 통신을 사용하여 RSB로 전송한다. 그리고 그 메시지를 수신한 RSB는 차량 밀도가 낮을 때 사본 분산의 기회를 높이기 위하여 버퍼에 저장된 위치 의존 차량 콘텐츠의 사본을 분산한다.

수신자 광고가 RSB와 RSU에 의해 주기적으로 방송된다. 수신자 광고는 콘텐츠 기반 주소뿐만 아니라 그 콘텐츠를 생성한 차량 ID를 포함한다. 그것의 목적은 어떤 수신자로부터 모든 잠재적인 송신자들까지의 경로 정보를 푸시하는 것이다. 수신자 광고 패킷의 구조는 Fig. 5(b)와 같다.

H²CDBF는 6가지 콘텐츠 범주에 따라 다른 라우팅을 사용하는 하이브리드 콘텐츠 라우팅 기법을 사용한다. H²CDBF에서, 범주 A에 속하는 콘텐츠에 대해 차량들이 이 콘텐츠를 캐시 하는 반응형 라우팅을 공통적으로 사용한다. 아울러 콘텐츠 범주 A1은 콘텐츠를 생성한 차량이 있는 3-차 지역의 RSB와 그 고정노드의 2-차 지역의 RSU에 그 콘텐츠의 사본을 저장한다. 콘텐츠 범주 B1은 콘텐츠를 생성한 차량과 중계 차량들이 그 콘텐츠의 방송하고, 콘텐츠 범주 B2는 수신자 광고에 기초하여 그 콘텐츠 수신을 원하는 RSB들에게 그 콘텐츠 사본을 저장하는 사전형 라우팅을 사용한다. 그리고 범주 C에 속하는 콘텐츠에 대해 차량이 콘텐츠를 운반 전송하는 기회적 라우팅을 공통적으로 사용한다. 아울러 콘텐츠 범주 C1은 콘텐츠를 생성한 차량이 있는 2-차 지

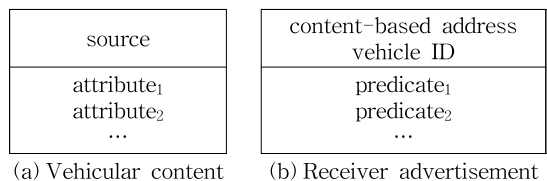


Fig. 5. High-level structure of packets.

역의 RSU에 그 콘텐츠 사본을 저장한다.

3.2 차량 콘텐츠 전송

H²CDBF은 Fig. 4의 VANET의 논리적 계층구조와 Bloom필터를 사용하여 콘텐츠의 검색/전송 시간을 최적화한다. Bloom 필터는 원소가 집합에 속하는지 여부를 검사하는데 사용되는 확률적 자료 구조이다. Bloom 필터는 m 비트 크기의 비트 배열 구조를 가진다. 또한 Bloom 필터에서는 k 가지의 서로 다른 해시 함수를 사용하며, 각 해시 함수는 입력된 원소에 대해 m 가지의 값을 균등한 확률로 출력해야 한다. ABF (Attenuated Bloom Filter) [17, 18]는 특히 발견될 객체가 근처에 위치할 때 위치 관리의 성능을 최적화하는 방법으로 소개되었다. ABF는 깊이 d 의 표준 Bloom 필터의 배열이다. ABF에서 각 행은 다른 거리에 있는 객체들을 나타낸다.

계층적 콘텐츠 전송 방법인 H²CDBF에서 차량들은 VANET의 논리적 계층구조의 3-차 지역 내에서 광고 메시지를 전송하여 콘텐츠 정보를 교환한다. 이 정보는 ABF로 표현된다. ABF는 여러 계층의 Bloom 필터로 구성된다. 첫 번째 계층은 전송 차량에서 가용인 콘텐츠들을 표현하는 Bloom 필터를 포함한다. 두 번째 계층은 그 노드로부터 1 홉 떨어져 있는 콘텐츠로 구성된다. 이 때 홉의 수를 깊이이라 한다. Fig. 6의 ABF의 최대 깊이는 3이 된다. 따라서 최대 2 홉 떨어져 있는 콘텐츠를 발견할 수 있다. Fig. 6은 입력 ABF들로부터 어떻게 정보가 수집되는지, 출력 ABF로 어떻게 표현되는지를 보여준다. 여기서 하단의 RSB는 상단의 왼쪽 차량과 오른쪽 차량들로부터 ABF를 각각 수신한다. 각 노드는 자신의 콘텐

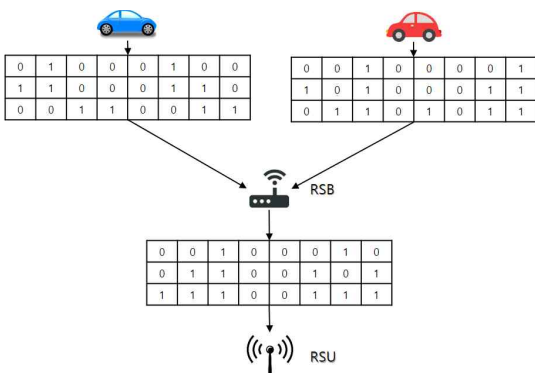


Fig. 6. Example of aggregation of content information.

츠에 대응하는 하나의 계층과 상단의 왼쪽 차량과 오른쪽 차량에서 수신한 각 계층들을 비트마다 OR한 계층들을 포함하는 ABF를 전송한다. 여기서 상단의 왼쪽 차량과 오른쪽 차량으로부터 수신된 세 번째 계층은 홉 깊이를 벗어난 콘텐츠를 나타내기 때문에 전송되는 ABF에 나타나지 않는다.

논리적 분할의 2-차 지역의 콘텐츠 서비스 지역의 RSU는 자신의 하위 3-차 지역의 RSBs로부터 수집된 콘텐츠 정보에 대한 ABF를 Fig. 7과 같이 열단위로 비트 OR 연산을 하여 2-차 지역의 콘텐츠 정보에 대한 SBF (Summary Bloom Filter)를 구성하여 1-차 지역의 콘텐츠 서비스 지역의 VCC로 전송한다.

H²CDBF에서 요청한 콘텐츠를 발견하는 과정은 먼저 요청한 차량, 그 다음으로 콘텐츠를 요청한 이웃 차량들, 그 지역의 3-차 지역의 RSB, 그리고 그 지역의 2-차 지역의 RSU, 마지막으로 1-차 지역의 VCC 순서로 검색한다. Fig. 8은 H²CDBF의 최악 경우에 차량 콘텐츠 질의에 대한 메시지 시퀀스 다이어그램을 보여준다.

4. 성능평가

H²CDBF의 성능 평가는 [18, 19]에서 사용된 성능 분석 방법을 기초로 콘텐츠를 관리하는데 드는 전체 비용으로 평가하고, 그것의 성능을 제안하는 H²CDBF 방법과 유사한 구조를 갖는 BFR [16, 17]의 방법과 비교한다. 분석적 평가를 위하여 사용되는 기호는 Table 1에서 보여준다.

BFR에서는 VANET을 도시 배치의 지리적 분할과 일치하는 클러스터들로 계층적으로 구성한다. 클러스터 중심에 있는 노드가 클러스터 헤드가 되고, Bloom필터 광고들이 클러스터 계층구조의 클러스터

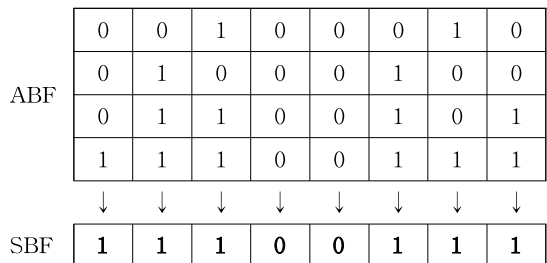


Fig. 7. Example of an SBF formation.

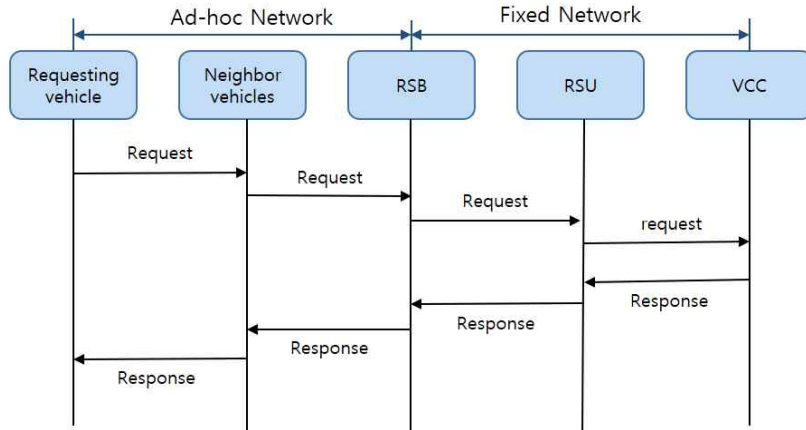


Fig. 8. Message sequence diagram for content query in H²CDBF.

Table 1. Notation for analytical evaluation

General		Bloom Filter	
Notation	Description	Notation	Description
μ	advertisement rate	w	the width of the bloom filter
λ	query rate	d	the depth of the bloom filter
m	the number of vehicles in unit region		

헤드들에게 단계별로 전파되어진다. 노드 단계에서, 인기 있고 공유 또는 캐시 할 수 없는 차량 콘텐츠의 제공자만이 bloom필터 광고를 전송한다. 클러스터 헤드는 bloom필터 광고들을 클러스터 bloom필터 광고로 수집하고, 그것을 다음 단계로 공지하는 책임이 있다. 콘텐츠 검색에서, 각 노드는 요청들을 최종 목적지 클러스터로 돌리기 위하여 다른 콘텐츠 처리 동안에 얻은 캐시 된 bloom필터를 사용할 수 있고, 그 콘텐츠 질의는 클러스터 계층구조의 단계별로 위로 전송된다.

제안하는 H²CDBF와 BFR의 차이는 다음과 같다.

- BFR은 인기도와 공유 가능성을 고려하여 차량 콘텐츠들을 3가지로 분류하지만, 교통 혼잡 정보와 교통사고 사진, 그리고 공사구간 등과 같은 콘텐츠들은 지역 의존성을 갖기 때문에 H²CDBF에서는 지역성을 추가하여 차량 콘텐츠들을 6가지로 분류한다.

- BFR은 기반구조로 VCC만을 사용한다. 그러나 H²CDBF 시스템은 기반구조로 VCC, RSU, RSB 등을 사용한다. 그리고 기반구조의 설치비용을 고려하여 수요가 많은 시스템의 3-차 지역에 RSB를 배

치한다.

- BFR에서는 클러스터 계층구조의 맨 아래 계층에서만 bloom필터를 사용하지만, H²CDBF에서는 논리적 계층구조의 3-차 지역과 2-차 지역에서 2가지 다른 bloom필터: ABF와 SBF를 각각 사용한다.

차량 콘텐츠 관리 방법의 성능은 콘텐츠 광고가 발행되고 콘텐츠 질의가 생성되는 비율에 의존하므로 전체 콘텐츠 관리비용은 식 (1)로 평가될 수 있다. 여기서 $Acost$ 와 $Qcost$ 는 콘텐츠 광고비용과 질의 비용을 각각 나타낸다.

$$Tcost = Acost + \frac{\lambda}{\mu} Qcost \tag{1}$$

$Acost$ 는 식 (2)와 같이 정의되어진다.

$$Acost = (mkh + 1)adpack_{ABF} + adpack_{SBF} \tag{2}$$

여기서 k 와 h 는 3-차 지역의 격차 차원과 그 지역 내의 차량들과 RSB 간의 평균 홉 수를 나타내고, 그리고 $adpack_{ABF}$ 와 $adpack_{SBF}$ 는 ABF와 SBF의 콘텐츠 광고 패킷의 크기를 각각 나타낸다.

$adpack_{ABF}$ 와 $adpack_{SBF}$ 의 크기는 다음과 같이 각각

Table 2. Parameters and values for analytical performance evaluation

Parameter	Value
N	256
k	4
m	1
w	128 bits
d	3
$header$	512 bits
$P_{NVS}, P_{RSB}, P_{RSU}, P_{VCC}$	0.2, 0.4, 0.3, 0.1

계산되어진다.

$$adpack_{ABF} = header + wd \quad (3)$$

$$adpack_{SBF} = header + w \quad (4)$$

여기서 $header$ 는 블룸 필터를 사용하는 콘텐츠 관리 프로토콜의 각 계층에서 부착되는 헤더의 크기를 나타낸다.

Fig. 4와 같이 전체 N 개의 단위지역으로 구성된 VANET의 논리적 계층구조의 차원은 $r = \lceil \log_k^N \rceil$ 이다. 따라서 최악의 경우에 콘텐츠 질의 메시지는 Fig. 8과 같이 r 노드들에게 전송되어진다. 따라서 $Qcost$ 는 식 (5)와 같이 정의되어진다.

$$Qcost = \sum_{i=1}^r iP_i \cdot qpack \quad (5)$$

여기서 P_i 는 콘텐츠 질의 메시지를 수신하는 노드들 이웃 노드들 RSB, RSU, VSS에서 그 콘텐츠 정보를 발견할 확률들을 각각 나타내고, $qpack$ 는 질의 패킷의 크기를 나타낸다.

$qpack$ 의 크기는 다음과 같이 계산되어진다.

$$qpack = header + w \quad (6)$$

Table 2는 차량 콘텐츠 관리 방법의 분석적 성능 평가를 위한 매개변수와 값을 보여준다.

Fig. 9는 콘텐츠 광고가 발행되고 콘텐츠 질의가 생성되는 비율(λ/μ)에 따른 차량 콘텐츠 전송 방법들의 전체비용을 보여준다. 제안하는 H^2CDBF 방법의 콘텐츠 광고비용과 질의비용이 줄어들기 때문에 콘텐츠 광고가 발행되고 콘텐츠 질의가 생성되는 비율에 관계없이 Yu의 BFR 방법 보다 성능이 우수함을 확인하였다.

H^2CDBF 의 콘텐츠 관리 관련 비용들이 감소하는

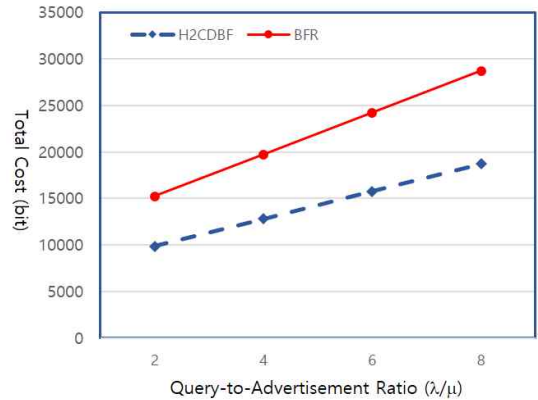


Fig. 9. The performance of the total costs for vehicular content delivery methods.

이유는 다음과 요약될 수 있다. 첫째, H^2CDBF 의 3-차 지역 RSU에서는 하위 계층의 RSB로부터 받은 수집된 콘텐츠 정보에 대한 ABF들을 SBF로 요약하여 상위 계층의 VCC로 전송하기 때문에 전송되는 콘텐츠 관리 정보의 양이 감소되어 콘텐츠 광고 비용이 줄어든다. 둘째, VANET의 논리적 계층구조의 3-차 지역과 2-차 지역에 설치비용을 고려하여 RSB와 RSU를 각각 설치하여, 클라이언트는 콘텐츠 소스가 아닌 인접 지역에 있는 대리 서버인 RSB와 RSU로부터 콘텐츠를 전송 받을 수 있을 뿐만 아니라 차량 밀도가 낮은 지선도로에서의 콘텐츠 전송 문제도 해결되어 콘텐츠 질의비용이 줄어든다. 셋째, 비용 효율적인 기반구조를 사용하여 콘텐츠 관리 패킷들이 상위 계층으로 전달되기 때문에 작은 홉 수를 거쳐 그 패킷들이 전송되므로 콘텐츠 광고/질의 비용 모두 감소한다.

5. 결론

본 논문에서는 콘텐츠 속성에 따른 콘텐츠 범주마다 다른 콘텐츠 라우팅 기법을 사용하는 블룸필터 기반 계층적 하이브리드 콘텐츠 라우팅 기법인 H^2CDBF 를 제안하고, 그것의 성능을 분석적 모델로 평가하고, 그리고 Yu 등이 제안한 BFR과 성능을 비교하였다. 그 결과, 제안하는 H^2CDBF 의 성능이 우수함을 확인하였다. 향후 연구과제로는 모의실험을 통하여 다양한 매개변수들의 동적 변화에 따른 H^2CDBF 의 성능을 평가하는 것과 IoT 장치들을 위한 블룸필터 기반 상황 또는 서비스 전송 네트워크

를 연구하는 것 등이 있다.

REFERENCE

- [1] M. Whaiduzzaman, M. Sookhak, A. Fani, and R. Buyya, "A Survey on Vehicular Cloud Computing," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 40, pp. 325-344, 2014.
- [2] S.K. Bhoi and P.M. Khilar, "Vehicular Communication: A Survey," *Journal of IET Networks*, Vol. 3, Issue 3, pp. 204-217, 2014.
- [3] A. Carzaniga, M.J. Rutherford, and A.L. Wolf, "A Routing for Content-Based Networking," *Proceeding of IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 918-928, 2004.
- [4] Y. Yu, X. Li, M. Gerla, and M.Y. Sanadidi, "Scalable VANET Content Routing Using Hierarchical Bloom Filter," *Proceeding of International Conference Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1629-1634, 2013.
- [5] G. Sebestyén and A. Hangan, "Bloom Filters for Information Retrieval in the Content of IoT," *Proceeding of International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, pp. 1-6, 2016.
- [6] J.I. Kim, H.Y. Jung, and W.G. Park, "Content Centric Networking Technology," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 25, No. 6, pp. 136-143, 2010.
- [7] GRIDS, *A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks*, Technical Report, GRIDS-TR-2007-4, Grid Computing and Distributed Systems Laboratory, 2007.
- [8] F.A. Silva, A. Boukerche, T.R.M.B. Silva, L.B. Ruiz, E. Cerqueira, and A.A.F. Loureiro, "Vehicular Networks: A New Challenge for Content-Delivery-Based Applications," *Journal ACM Computing Surveys*, Vol. 49, Issue 1, pp. 11:1-11:29, 2016.
- [9] M. Yamanaka, G. Tsuchida, and S. Ishihara, "A Replica Distribution Scheme for Location-dependent Information on Vehicular Ad Hoc Networks," *Proceeding of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 98-99, 2006.
- [10] J. Okamoto and S. Ishihara, "Distributing Location-Dependent Data in VANETs by Guiding Data Traffic to High Vehicle Density Area," *Proceeding of Vehicular Networking Conference*, pp. 189-196, 2010.
- [11] J. Okamoto and S. Ishihara, "Replica Distribution Scheme for Location-Dependent Data in Vehicular Ad Hoc Networks Using a Small Number of Fixed Nodes," *International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, pp. 1-8, 2010.
- [12] N. Nakamura, Y. Niimi, and S. Ishihara, "Live VANET CDN: Adaptive Data Dissemination Scheme for Location-Dependent Data in VANETs," *Proceeding of IEEE Vehicular Networking Conference*, pp. 95-102, 2013.
- [13] T.H. Luan, L.X. Cai, J. Chen, X. Shen, and F. Bai, "VTube: Towards the Media Rich Life with Autonomous Vehicular Content Distribution," *Proceeding of Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 359-367, 2011.
- [14] I. Bae, "Design and Evaluation of a Hierarchical Service Management Method using Bloom Filters for Large MANETs," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 11, No. 4, pp. 1688-1696, 2008.
- [15] Y. Yu, T. Punihale, M. Gerla, and M.Y. Sanadidi, "Content Routing In the Vehicle Cloud," *Proceeding of IEEE Military Communications Conference*, pp. 1-6, 2012.
- [16] Y. Yu, X. Li, M. Gerla, and M.Y. Sanadidi, "Scalable VANET Content Routing Using Hierarchical Bloom Filters," *Proceeding of International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 1629-1634, 2013.

- [17] P. Goering and G. Heijenk, "Service Discovery Using Bloom Filters," *Proceedings Twelfth annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging*, pp. 219-227, 2006.
- [18] F. Liu and G. Heijenk, "Context Discovery Attenuated Bloom Filters in Ad-hoc Networks," *Journal of Internet Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 49-58, 2007.
- [19] F. Liu, P. Goering, and G. Heijenk, "Modeling Service Discovery in Ad-hoc Network," *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks*, pp. 9-16, 2007.



배 인 한

1990년 중앙대학교 컴퓨터공학과
공학박사

1996년~1997년 Department of
Computer Science and
Eng., The Ohio State
University 박사후과정

2002년~2003년 Department of Computer Science, Old
Dominion University 방문교수

2009년~2010년 Department of Computer Science, Old
Dominion University 방문교수

1989년~현재 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수

관심분야 : 차량망, IoT, 차량클라우드, 지능스마트앱 등