

# 효과적인 모빌리티 인지 퍼브-서브 시스템을 위한 Q+R 트리 기반의 브로커 네트워크

이명국\*, 김경백\*\*

\*AnyDATA Cooperation, 미국

\*\*전남대학교 전자컴퓨터공학과

e-mail:kyungbaekkim@jnu.ac.kr

## Q+R tree based broker network for efficient mobility aware pub-sub system

Myung-Guk Lee\*, Kyungbaek Kim\*\*

\*AnyDATA Cooperation, USA

\*\*Dept of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

### 요 약

모빌리티 인지 퍼브-서브 시스템은 사용자의 관심 위치 정보가 지속적으로 변하는 위치 기반 퍼브-서브 시스템으로써, 스마트 모바일 기기의 대중화와 함께 그 활용도가 부각되고 있다. 이 논문에서는 기존의 위치기반 퍼브-서브 시스템에서 깊이 고려하지 않았던, 관심 위치 정보의 빈번한 변화를 효과적으로 처리하기 위한 브로커 네트워크를 제안한다. 사용자의 행동패턴이나 지리적 특성을 고려해 퍼브-서브 시스템에서 제공하고자 하는 공간 데이터 영역을 Slow Moving Region과 Normal Moving Region의 두가지 타입으로 구분하고, 각 영역에 대한 사용자의 요청을 효과적으로 지원하기 위해 Q+R트리를 사용하여 브로커를 관리한다. 시뮬레이션을 사용한 실험 결과를 통해 제안하는 Q+R트리 기반의 브로커 네트워크가 불필요한 브로커의 로드와 네트워크 트래픽을 감소시킴으로써 보다 효과적으로 지속적인 사용자의 관심 위치 정보 변화를 지원할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

퍼브-서브(pub-sub) 시스템은 정보를 다수의 사용자들에게 전달하기 위한 가장 효과적인 모델 중 하나이다. 퍼브-서브 시스템에서 퍼블리셔(publisher)는 전달하고자 하는 정보를 생성하고, 서브스크라이버(subscriber)들은 관심 있는 정보들만을 시스템에서 받는다. 퍼브-서브 시스템은 메시지 기반 통신방식을 취함으로써, 퍼블리셔와 서브스크라이버간의, 시간적 그리고 공간적으로, 비동기화된 데이터 통신을 제공한다.[1] 즉, 퍼블리셔는 제공하고자 하는 데이터에 관심 있어 하는 서브스크라이버들의 정보를 알지 못하더라도 데이터를 알맞은 서브스크라이버들에게 전송할 수 있다는 것이다. 이를 통해 퍼브-서브 시스템은 높은 확장성과 유연성을 가질 수 있다.

메시지 기반 통신방식을 효과적으로 구현하기 위해서, 퍼브-서브 시스템은 브로커(broker)를 사용한다.[2][3] 브로커는 퍼블리셔나 서브스크라이버가 시스템에 접근할 때 사용되는 게이트웨이(gateway)의 역할을 할 뿐만 아니라, 서브스크라이버의 관심사항을 기반으로 관리되는 서브스크립션 테이블(subscription table)을 통해 퍼브-서브 시스템의 메시지 라우팅을 담당한다. 확장성과 유연성을 위하여, 다수의 브로커들은 하나의 네트워크로 구성되어 관리

된다.[2][4][5]

브로커 네트워크는 퍼브-서브 시스템의 주요 목적에 따라 다양한 방식으로 관리 된다. 콘텐츠 기반의 퍼브-서브 시스템에서는, 그래프 기반의 라우팅 관리 방식을 사용하여 브로커 네트워크를 관리한다.[2][3] 토픽 기반의 퍼브-서브 시스템에서는, 브로커 네트워크는 사전에 정의된 주제들로 구별되는 트리형태의 논리적 채널을 유지하는 방식으로 관리된다.[4][5]

토픽 기반의 퍼브-서브 시스템의 한 가지 예로 위치기반 퍼브-서브 시스템을 생각할 수 있다. 최근 급격히 늘어난 스마트 모바일 기기의 수요에 맞춰 다양한 형태의 위치기반 퍼브-서브 시스템들이 연구 되고 있다. [6][7][8] 이러한 위치기반 퍼브-서브 시스템들은 관심 있는 위치 정보를 하나의 토픽으로 설정하는 방식으로 브로커 네트워크를 관리한다. 하지만, 하지만 과거의 위치기반 퍼브-서브 시스템에 대한 연구에서는 서브스크라이버들의 장소 이동에 대해서 크게 고려하지 않았다. 즉, 서브스크라이버들이 빈번하게 이동함에 따라 그 관심 정보(서브스크립션) 또한 빈번하게 바뀔 수 있다는 점에 대해 크게 고려하지 않았다.

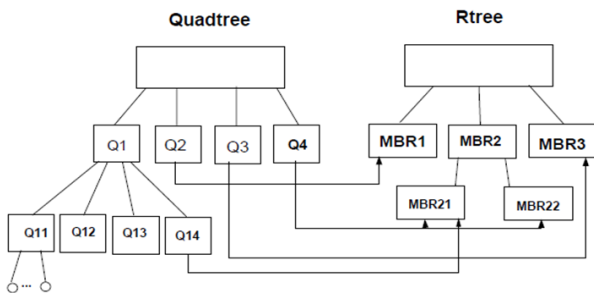
이 논문에서는 서브스크라이버들의 장소이동에 따른 빈번한 서브스크립션의 변화에 대해 효과적으로 대응하는

모빌리티(Mobility)인지 퍼브-서브 시스템을 위한 새로운 브로커 네트워크 관리 방법을 제안한다. 이를 위해 제안하는 시스템에서는 사용자의 모빌리티의 정도에 따른 관심 지역을 Slow Moving Region과 Normal Moving Region의 두 가지 타입으로 정의하고, 각 타입에 대한 서브스크립션들을 효과적으로 관리하기 위한 Q+R 트리 기반의 브로커 네트워크 관리 방식을 제안한다.

## 2. Q+R 트리 기반의 브로커 네트워크

### 2.1 Q+R 트리

위치기반 퍼브-서브는 기본적으로 지리적 정보를 다루기 때문에, 공간 정보(spatial data)를 관리하는 데이터 구조 또는 시스템을 사용한다. 대표적인 공간 정보 관리 데이터 구조로는 R트리와 Quad트리를 생각할 수 있다. R트리는 공간 정보가 좁은 지역에 밀집해있을 경우 보다 효과적인 데이터 관리가 가능해 지는 반면, 빈번한 정보 변화에 대해서는 취약하다. Quad트리는 공간 정보가 넓게 퍼져 있는 경우에 보다 규격화된 정보 관리 방식을 통해 효과적인 데이터 관리가 가능하다. 이와 같은 장단점들을 보완한 데이터 구조로 Q+R 트리가 제안 되었다.[9]



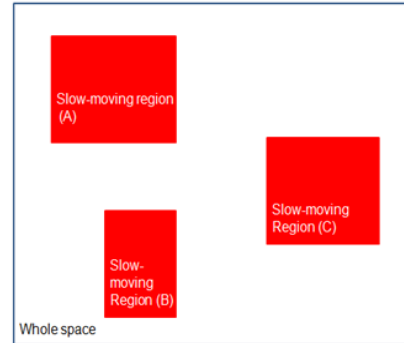
(그림 1) Q+R 트리 구조

그림 1과 같이 Q+R트리에서는 Quad트리와 R트리가 공존한다. Quad트리와 R트리의 루트는 서로 같은 공간 데이터 영역을 관리 하고, 각 트리의 관리법에 따라 공간 데이터 영역을 분배하여 하위 트리 블록들을 생성 한다. Quad트리와 R트리의 하위 트리 블록들이 담당하는 공간 데이터 영역이 서로 겹치는 경우 각 블록간의 크로스 링크를 설정한다. 예를 들면 Quad트리의 Q2블록이 담당하는 공간 데이터 영역이 R트리의 MBR1블록이 담당하는 공간 데이터 영역과 겹치기 때문에 크로스 링크가 설정된다.

### 2.2 모빌리티 인지 공간 데이터 영역 분리

사용자들의 위치정보의 변화를 살펴보면, 그 변화가 자주 변하지 않는 영역과 그 변화가 빈번하게 변하는 영역으로 나누어 생각 할 수 있다. 우선 빌딩들이 운집해 있는 다운타운 지역과 같이 사용자들의 위치정보가 비교적 긴 시간 동안 변하지 않는 Slow Moving Region에 해당하는

공간 데이터 영역을 생각할 수 있다. 이 Slow Moving Region들은 해당 공간 데이터에 해당하는 지리적 정보를 분석하거나, 사용자들의 행동 패턴을 분석하여 얻어 낼 수 있다. 그림 2와 같이 전체 공간 데이터 영역에서 Slow Moving Region을 제외한 나머지 공간 데이터 영역은 모두 Normal Moving Region에 해당된다.

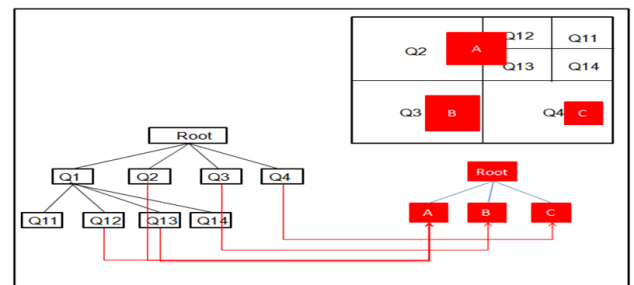


(그림 2) Slow Moving Regions

이 Slow Moving Region에서는 사용자들의 이동속도가 늦고 많은 사용자들이 밀집해 있기 때문에, R트리 기반의 데이터 관리방식이 알맞다. 반면 Normal Moving Region에서는 사용자들의 이동이 빈번하게 일어날 가능성이 높고 사용자의 밀도도 Slow Moving Region에 비해서 상대적으로 낮기 때문에, 규격화된 트리 관리를 통한 효과적인 정보 관리를 지원하는 Q트리 기반의 데이터 관리 방식이 알맞다.

### 2.3 Q+R트리 기반 브로커 및 서브스크립션 관리

그림 3에서 표현된 것처럼, Slow Moving Region과 Normal Moving Region은 각각 Q+R트리의 R트리와 Quad트리에 의해서 관리 된다. 각 Slow Moving Region은 R트리의 루트를 부모 블록으로 가지는 트리 블록들에 의해서 관리 된다. 반면, Normal Moving Region은 Quad트리 관리법에 따라, 부모 트리 블록을 균등한 네 영역으로 나누는 방식으로 트리 블록들을 관리 한다.



(그림 3) 공간 데이터 영역과 Q+R트리 구조

Q+R트리의 각 트리 블록들에는 각 트리의 관리법에 따라 지정된 공간 데이터 영역을 담당하기 위한 브로커가 할당된다. 이렇게 할당된 브로커는 해당 공간 데이터 영역에 관심을 두고 있는 서브스크라이버들을 관리한다. 즉, 해당하는 서브스크립션 테이블을 관리한다. 만약, 한 브로

커에서 담당하는 서브스크라이버의 개수가 너무 많아지게 되면, 하위 트리 블록들을 만들어 담당하던 서브스크라이버를 각 하위 트리 블록에 분배한다. 새로 생성된 트리 블록에 대해서도 브로커가 할당 된다. 이 논문에서 명시된 브로커는 하나의 독립적인 머신 뿐만 아니라 대규모 클러스터 시스템에서 제공되는 하나의 워커(Worker)로 볼 수 있다. 이와 같은 트리 관리를 통해, 한 브로커에 큰 로드 가 몰리는 상황을 막고, 전체 브로커의 로드를 평준화 할 수 있다.

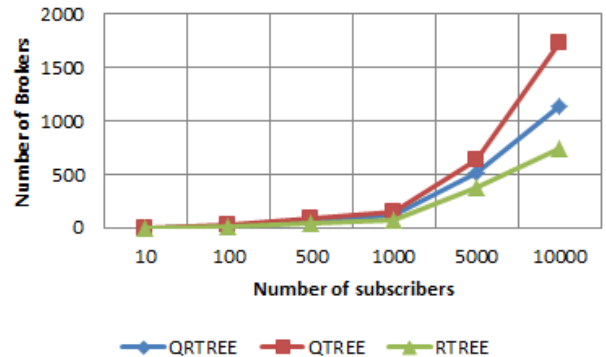
서브스크라이버가 모빌리티 인지 퍼브-서브 시스템에 관심 지역을 등록할 때, 우선 Q+R트리의 R트리를 사용하여 관심 지역의 Slow Moving Region로의 포함 여부를 확인한다. 즉, 관심 지역이 R트리의 임의의 하위 MBR이 담당하는 영역 내에 존재할 경우, 이 관심 지역은 Slow Moving Region에 포함된다고 하고, 해당 MBR을 담당하는 브로커가 이 관심 지역에 대한 서브스크립션을 저장한다. 만약 관심 지역이 어떤 MBR에 관련된 영역에 대해서도 포함되지 않는다면 이 관심 지역은 Normal Moving Region에 포함된다고 한다. 이 경우에는, 관심 지역을 포함하는 Quad트리의 말단 (Leaf) 트리 블록을 찾고 해당 브로커에 이 관심 지역에 대한 서브스크립션을 저장한다.

### 3. 실험 결과

Q+R트리를 사용한 브로커 및 서브스크립션 관리가 사용자의 모빌리티를 인지하는 위치기반 퍼브-서브 시스템에 미치는 영향을 확인하기 위해서, 시뮬레이션 기반의 실험을 수행 하였다. 실험을 수행한 위치 기반 퍼브-서브 시스템은 임의의 크기의 사각형 모양의 공간 데이터 영역을 지원하는 시스템이다. 퍼블리쉬들은 시스템이 제공하는 공간 데이터 영역의 임의의 위치에 위치하고, 임의의 크기의 사각형 공간 데이터 영역에 대한 이벤트를 발생시킨다. 서브스크라이버들은 시스템이 제공하는 공간 데이터 영역 내에서 임의의 주어진 속도로 지속적으로 이동하면서, 주기적으로 (20ms) 현재의 위치에 관련된 모든 이벤트를 수신한다. 이때 각 서브스크라이버의 이동속도는 전체의 절반 정도는 느리게 움직이고 나머지 절반은 약 세배의 속도로 움직인다고 가정하였다.

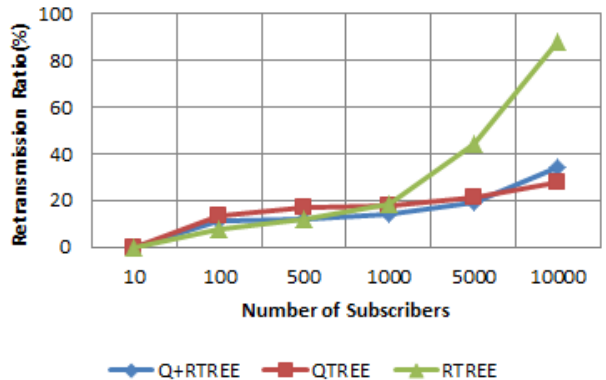
이러한 퍼브-서브 시스템에서 R트리, Quad트리, 그리고 Q+R트리를 사용하여 브로커 네트워크를 구성하였을 때, 시스템에 미치는 영향을 관찰하였다. 이를 위해 Number of Required Brokers와 Retransmission Ratio를 확인하였다. Number of Required Brokers는 각 트리 기법을 사용하였을 경우 시스템에서 필요한 브로커의 개수이다. Retransmission Ratio는 전체 이벤트 메시지 전송 트래픽에 대한 서브스크라이버의 이동에 따른 이벤트 재전송시 사용된 트래픽의 비율이다. 서브스크라이버가 해당 위치를 바꾸게 되면 서브스크립션이 저장되는 브로커의 위치를 바꾸게 되는데, 이때 브로커 간에 발생하는 이벤트 포워딩 또는 루트로부터 다시 전송되는 이벤트 메시지들

을 재전송 트래픽으로 간주한다. 각 인자들을 시스템을 사용하는 서브스크라이버의 수를 변화 시켜가면서 측정함으로써, 각 트리 기법을 사용한 브로커 네트워크가 퍼브-서브 시스템의 확장성과 유연성을 얼마나 지원할 수 있는지를 관찰하였다.



(그림 4) 서브스크라이버 수에 따른 Number of Required Brokers의 변화

그림 4에서는 서브스크라이버 수의 변화에 따른 필요한 브로커 수의 변화에 대한 결과를 나타내고 있다. 즉 Q트리를 사용할 경우 가장 많은 브로커를 사용하게 되고 R트리를 사용할 경우 가장 적은 브로커를 사용하게 된다. Q+R트리를 사용할 경우 Slow Moving Region에 포함되는 다수의 서브스크라이버들을 R트리를 사용해 관리하게 된다. 이를 통해, Q+R트리 사용시, 필요한 브로커의 개수는 Q트리를 사용했을 경우에 비해 35%정도 적음을 확인하였다.



(그림 5) 서브스크라이버 수에 따른 Retransmission Ratio의 변화

그림 5에서는 서브스크라이버 수의 변화에 따른 Retransmission Ratio의 변화에 대한 결과를 나타내고 있다. 필요한 브로커의 개수에 대한 결과와는 반대로 R트리를 사용하였을 경우 Retransmission이 더욱 빈번히 일어나게 되고 서브스크라이버의 수가 늘어날수록 재전송시 필요한 트래픽의 양이 급격히 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. R트리는 사용자들이 비교적 좁은 구역에서 자주

움직이지 않는 경우를 위해 사용되기 때문에, 이와 같이 지속적으로 서브스크립션이 변하는 상황에는 R트리가 적합하지 않다는 것을 확인 할 수 있다. 반면, Q+R트리를 사용할 경우 Q트리의 구조적 특징을 사용해서 지속적인 서브스크립션 변화에 필요한 Retransmission Ratio를 낮출 수 있었다.

#### 4. 관련연구

퍼브-서브 시스템에서 사용자의 모빌리티를 지원하기 위한 연구들이 있었다.[10][11] 이 연구들에서는 일시적인 서브스크립션 변화를 지원하기 위한 보다 효과적인 브로커간의 핸드오프에 대해 집중적으로 논하고 있다. 반면 이 논문에서는 지속적인 서브스크립션의 변화를 지원하기 위한 브로커 네트워크 관리 기법에 대한 내용을 다루고 있다.

#### 5. 결론

모바일 스마트 기기가 위치기반 퍼브-서브 시스템에서 사용될 경우, 사용자의 이동에 따라 장소 정보와 관련된 서브스크립션이 지속적으로 변화하게 된다. 이러한 지속적으로 변화 하는 서브스크립션을 다루는 모빌리티 인지 퍼브-서브 시스템에서 브로커 네트워크를 사용할 경우, 사용자의 이동성을 고려하여 브로커 네트워크를 효과적으로 구성함으로써 시스템에서 필요한 리소스를 줄일 수 있음을 확인 하였다.

이 논문에서는 사용자의 이동성을 두가지 타입으로 구분한 후, 서브스크립션의 변화가 더딜 것으로 예상되는 Slow Moving Region을 R트리방식으로 관리하고 그 외의 Normal Moving Region을 Quad트리 방식으로 관리하도록 하는 Q+R트리 방식의 브로커 네트워크 관리 방식을 제안 하였다.

향후 연구 방향으로 는 보다 다양한 사용자의 이동성을 고려한 브로커 네트워크에 대한 연구, 제한된 브로커 리소스를 사용하였을 때 지속적 서브스크립션 변화에 대응하기 위한 브로커 네트워크 관리 방법에 대한 연구 등이 있다.

#### 참고문헌

[1] Andrew S. Tanenbaum and Marrteen Van Steen, "Distributed systems principles and paradigms", 2006  
 [2] R. Baldoni, R. Beraldi, L. Querzoni, and A. Virgillito. Efficient publish/subscribe through a self-organizing broker overlay and its application to SIENA. The Computer Journal, 2007.  
 [3] Pietzuch, P. and Bacon, J. (2002) Hermes: A distributed event-based middleware architecture. Proceedings of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (DEBS),

Vienna, Austria, 2-5 July, pp. 611- 618. IEEE Computer Society, Washington.

[4] Terpstra, W. W., Behnel, S., Fiege, L., Zeidler, A., and Buchmann, A. P. (2003) A peer-to-peer approach to content-based publish/subscribe. Proceedings of the second International Workshop on Distributed Event-Based Systems, San Diego, California, USA, 8 June, pp. 1-8. ACM, New York.

[5] Rowston, A., Kermarrec, A., Castro, M., and Druschel, P. (2001) SCRIBE: The Design of a Large-Scale Notification Infrastructure. Proceedings of the third International Workshop on Networked Group Communication, London, UK, 7-9 November, pp. 30-43. Springer-Verlag, Berlin.

[6] Eugster, P.T., Garbinato, B., Holzer, A.: Location-based publish/subscribe. In: NCA '05: Proceedings of the Fourth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, pp. 279-282. IEEE Computer Society Press, Washington / (2005)

[7] J. H. Ahnn, Uichin Lee, and H. J. Moon, GeoServ: A Distributed Urban Sensing Platform, In Proc. CCGrid 2011.

[8] K. Kim, Y. Zhao, and N. Venkatasubramanian, GSFord: Towards a Reliable Geo-Social Notification System, In Proc. SRDS 2012

[9] Yuni Xia, Sunil Prabhakar, Q + R tree: efficient indexing for moving object databases, in: Proceedings of Eighth International Conference on Database Systems for Advanced Applications DASFAA, 2003, pp. 175-182

[10] L. Li, A. Gaddah, and T. Kunz, "Mobility Support in a Tactical P2P Publish/Subscribe Overlay", to appear in Proceedings of the 27th International Conference for Military Communication, (MILCOM2008), San Diego, CA, USA, November 2008.

[11] J. Wang, J. Cao, J. Li, and J. Wu, "MHH: A Novel Protocol for Mobility Management in Publish/Subscribe Systems", In Proceedings of the 2007 International Conference on Parallel Processing (ICPP'07), IEEE Computer Society, September 2007, Washington, DC, pp. 54-61