

이동적응망에서 데이터 일관성 보장을 위한 주사본 기반 데이터 중복 기법

문애경^o

한국전자통신연구원 소프트웨어로봇연구팀
{akmoon^o}@etri.re.kr

Primary Copy based Data Replication Scheme for Ensuring Data Consistency in Mobile Ad-hoc Networks

Aekyung Moon^o

Software Robot Research Team, ETRI

요 약

이동적응망(MANET: Mobile Ad-hoc Network)은 네트워크 하부 구조를 필요로 하지 않은 무선 단말들로 구성된 네트워크이다. 이러한 특성은 네트워크 단절 가능성을 높게 하기 때문에 이동단말들의 데이터 액세스율이 낮아지게 된다는 문제점을 갖는다. 이를 해결하기 위하여 이동 노드들은 데이터의 중복사본을 갖는다. 이동 노드가 갖는 중복사본은 데이터 일관성을 유지하기 위하여 별도의 중복관리 기법이 필요하다. 하지만 MANET을 구성하는 이동 노드들은 일반적으로 제한된 전력을 가지고 있고 단절될 가능성이 높기 때문에 중복 사본의 일관성 보장은 어려운 문제로 지적되고 있다. 기존에 제안된 MANET에서의 데이터 중복관리 기법은 데이터 액세스 빈도수를 계산하여 액세스율을 높이는 방법에 주안점을 두고 있고 갱신 데이터의 일관성 보장은 그 어려움 때문에 주로 판독 연산만 고려하였다. 갱신 트랜잭션을 지원하는 경우 대부분 높은 통신비용을 이유로 데이터 일관성을 보장하지 않는다. 또한 이동 노드가 다수의 서버를 통해서 갱신 연산을 실행하기 때문에 통신 오버헤드로 인하여 전력소모가 크다. 본 논문에서는 주사본 노드를 통하여 갱신을 가능하게 함으로써 데이터 일관성을 유지할 수 있는 데이터 중복 기법을 제안한다. 제안된 기법은 이동 노드들의 에너지 특성을 고려하여 더 많은 에너지를 가진 노드에게 갱신 전파 및 일관성 유지를 의뢰함으로써 상대적으로 낮은 에너지를 갖는 이동 노드의 에너지 효율을 고려하였다.

1. 서 론

이동적응망(MANET: Mobile Ad-hoc Network)을 구성하는 노드들은 지리적으로 분산되어 있고 제한된 전력을 가지고 이동함으로써 네트워크의 단절 가능성이 높다 [9]. 따라서 이동 노드들은 가용성을 증대시키기 위하여 데이터를 중복 저장하고 데이터 일관성을 보장하기 위하여 별도의 중복관리 기법을 갖는다. 하지만, 이동 노드의 에너지를 고려해야 하는 MANET 환경에서 중복사본의 일관성 유지는 노드들의 제한된 에너지로 인하여 어려운 문제로 지적되었다 [1]. 따라서 기존의 데이터 중복 기법은 이동 노드에서 갱신을 허용하지 않거나 판독 질의만을 고려하는 것이 대부분이었다 [3]. 이러한 관점에서 본 논문에서는 갱신 트랜잭션을 허용하는 데이터 중복기법을 제안한다.

본 논문에서는 전역적일성을 보장하면서 에너지 효율을 고려한 중복 기법인 PCRA(Primary Copy Replication Approach)을 제안한다. PCRA에서 갱신 트랜잭션은 해당 데이터의 주사본 권한을 가진 노드에서만 허용하고 단절현상을 고려하여 주사본 노드 그룹을 형성하고 그룹에 속한 데이터인 경우 갱신연산이 가능하다. 또한 하나의 서버 노드에게 갱신연산을 의뢰하면 수신한 서버 노드를 통하여 갱신 트랜잭션을 실행하고 결과만 전송받음으로써 상대적으로 적은 에너지를 가진 이동 노드의 전

력소모를 줄일 수 있다. 제안된 기법은 주사본 노드를 통하여 이동 노드에게 갱신 연산을 허용하고 최신 버전을 주사본 노드가 갖게 함으로써 정확한 데이터 정보를 액세스하기 위해서는 주사본 노드에게만 요청하면 된다. 따라서 기존의 갱신 연산을 지원하는 기법 [7]과 달리 최신 버전을 액세스하기 위해서는 여러 노드에게 질의하지 않기 때문에 통신 오버헤드를 줄일 수 있다. 뿐만 아니라, 갱신 연산의 경우, 주사본 노드만 동의하면 되기 때문에 데이터 일관성 보장을 위한 메시지 전송 횟수를 줄일 수 있고 그에 따른 통신 오버헤드를 줄임으로써 성능을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구에 대해 살펴보고, 3절에서는 본 논문에서 제안하는 PCRA 데이터 중복 기법을 설명한다. 4절에서 향후 연구 방향 및 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

MANET 환경에서 중복 기법에 대한 연구는 액세스 빈도수를 고려하여 액세스율을 높이고 갱신 연산은 고려하지 않는 연구가 대부분이었다. 대표적인 연구로는 [4]가 있다. 갱신 연산을 고려한 중복관리 기법에 대한 연구로는 [5],[7]그리고 [10]이 있다.

[10]은 MANET을 구성하는 모든 이동 노드가 최신의 데이터를 유지하기는 어렵다고 지적하고, 최신 데이터와

갱신 전 데이터를 구별할 수 있는 타임스탬프를 제공한다. 각 이동 노드는 데이터 식별자 리스트와 타임스탬프 리스트를 갖는다. 데이터가 갱신되는 경우, 노드는 타임스탬프 리스트를 변경하고 최신 버전 데이터를 검사한다. 갱신 전 데이터는 삭제되고 최신 데이터가 저장된다. 본 기법은 같은 시간에 동일한 데이터를 액세스하는 경우, 노드들이 서로 다른 값을 사용하는 충돌 현상이 발생할 수 있으므로 근본적으로 데이터 일관성이 보장되지 않는다.

[7]에서는 데이터일관성을 만족하는 쿼럼 기반 기법인 ETS(Eliminate-then-Select)를 제안하였다. ETS에서는 충돌하는 갱신 연산이 동시에 실행되는 것을 방지함으로써 데이터의 일관성을 보장한다. 하지만 네트워크 단절이 빈번한 MANET 환경에서는 쿼럼에 속하는 일부 서버의 회신으로 갱신 트랜잭션을 진행하기 때문에 전역 일관성을 보장하기 어렵다. 따라서 ETS의 경우 전역 일관성을 만족하기 위해서는 쿼럼에 속한 모든 서버로부터 회신이 오지 않으면 트랜잭션을 철회한다. 따라서 네트워크 단절로 인한 트랜잭션의 성공률이 낮고 판독 전용 트랜잭션의 경우에도 다수의 서버에게 요청해야 하기 때문에 통신비용이 높다.

[5]는 데이터들을 원본과 복사본으로 분류하고 원본을 가진 노드에서만 해당 데이터를 갱신할 수 있도록 하였다. 그리고 네트워크가 단절된 경우에는 복사본을 판독하도록 하고 연결된 경우 버전을 비교하여 변경된 경우는 이미 실행된 트랜잭션을 철회한다. 이러한 지연 갱신(lazy update) 중복 기법의 경우 데이터의 일관성에 대한 책임은 사용자가 갖는다[2].

데이터 일관성을 보장하기 위해서는 분산 컴퓨팅에서 주로 사용하는 즉시 갱신(eager update) 기법인 ROWA(Read One Write All)를 적용할 수 있다[8]. ROWA는 갱신 연산은 모든 중복사본 노드의 동의가 있어야 진행가능하기 때문에 네트워크 단절이 발생하면 해당 데이터에 대한 갱신연산을 진행할 수 없다. 즉, 이동 노드 중 한 노드라도 통신이 안되는 경우에는 갱신 트랜잭션을 실행할 수 없다는 문제점을 갖는다. Holliday[6]가 계획된 단절인 경우 프록시를 설정함으로써 갱신 연산 진행이 가능한 방법을 제시하였지만 임의로 단절되는 경우에는 적용이 어렵다.

3. 데이터 중복 기법

3.1 시스템 구조 및 가정

본 논문에서는 주사본 노드를 통하여 이동 센서 노드에게 갱신 연산을 허용하고 최신 버전을 주사본 노드가 갖게 함으로써 정확한 데이터 정보를 액세스하기 위해서는 주사본 노드에게만 요청하면 되는 주사본 기반 중복 기법인 PCRA를 제안한다. 본 절에서는 PCRA에 필요한 기본적인 시스템 구조 및 가정을 설명한다. 본 논문에서는 MANET의 에너지 특성을 고려하여 MANET을 구성하는 각 이동 노드들을 [3]과 같이 서버 역할을 하는 노드를 LMH(Large Mobile Host)로, 클라이언트 역할을 하는 노드를 SMH(Small Mobile Host)로 정의한다. 상대적으로 더 많은 에너지를 소유한 LMH는 완전 중복 데이터베이스를 가지고 있고 데이터를 갱신할 수 있는 주사본

(primary copy)노드가 된다. 구조를 단순화하기 위하여 각 LMH는 시스템 전체에 주사본 노드에 관한 정보를 가지고 있다고 가정한다. 그렇지 않은 경우에는 주사본 정보를 교환하기 위한 추가적인 통신오버헤드가 필요하다.

갱신 연산은 주사본 LMH를 통해서만 가능하다. 예를 들면, 데이터 집합 D 를 $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_n\}$ 으로, LMH의 집합을 $\{L_1, L_2, L_3, \dots, L_m\}$ 로 가정하고 D_1 의 주사본 노드를 L_1 으로 가정하자. 그러면, SMH노드 S_i 이 D_1 을 갱신하고자 하면 주사본 노드인 L_1 을 통해서 D_1 을 갱신할 수 있다. 이동하는 L_1 을 액세스하기 위해서는 멀티홉 통신이 필요한 경우 통신 비용이 많이 들 수 있다. 이를 위해, PCRA에서는 연결 가능한 주사본 노드를 그룹화하여 S_i 은 LMH 그룹의 하나의 노드 x 를 액세스하게 되면 해당 x 를 통하여 L_1 을 액세스할 수 있다. 하지만 해당 그룹에 L_1 이 포함되지 않은 경우에는 갱신 연산을 실행할 수 없다.

각 이동 노드들은 자신이 접근가능한 노드들의 리스트를 저장한다. 즉, 각 SMH 노드들은 액세스 가능한 LMH들의 리스트를 저장하고 LMH는 액세스 가능한 LMH들의 정보를 저장한다. 또한 각 LMH들은 주사본 정보를 갖는

표 1. PCRA의 자료 구조

자료 구조	의미
A_TBL[x]	SMH x 가 액세스 가능한 LMH 리스트 정보
C_TBL[x]	LMH x 가 액세스 가능한 LMH 리스트 정보
P_TBL[x]	LMH x 가 갱신 가능한 데이터 집합, 즉 LMH가 주사본 노드인 데이터 정보
U_TBL[x]	LMH x 가 갱신한 데이터 정보가 저장되어 있음. 갱신된 데이터와 타임스탬프를 쌍으로 저장. 전송할 LMH 노드를 비트맵으로 표현하여 이미 전송된 경우에는 '1'로 표현

다. 마지막으로 갱신 데이터를 전파하기 위하여 갱신 정보를 저장한 테이블을 갖는다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘에 필요한 자료구조는 표 1과 같다.

3.2 판독 전용 트랜잭션 알고리즘

본 논문에서는 트랜잭션을 판독 전용과 갱신 트랜잭션으로 나눈다. 판독 전용 트랜잭션의 경우 반드시 최신 데이터를 액세스해야 하는 경우 그렇지 않은 경우로 구분할 수 있다. 상세한 알고리즘은 다음과 같다.

경우 1: 최신 버전의 데이터가 필요한 경우에는 주사본 노드에게 판독 데이터를 요청해야 한다.

단계 1: 노드 x 는 A-TBL[x]에 저장된 LMH 노드 y 에게 판독 트랜잭션 $T_x[RS_k]$ 을 요청한다. RS_k 는 T_x 에서 액세스하고자 하는 데이터 집합을 의미한다.

단계 2: 수신한 노드 y 는 요청 데이터의 주사본 노드를 검사한다.

(1). $\forall d_i, d_j \in RS_k, \wedge d_i \in PCA(n)$ 인 노드 n 이 C-TBL[y]에 속하는 경우 d_i 의 주사본 노드 n 에게 d_i 의 데이터 값을 요청한다. 노드 n 으로부터 전송받은 d_i 값을 노드 x 에게 전송한다.

(2). d_r 의 주사본 노드가 C-TBL[y]에 속하지 않는 경우 해당 주사본 노드를 액세스 할 수 없는 경우이므로 철회 메시지를 노드 x에게 보낸다.

경우 2: 반드시 최신 버전의 데이터를 액세스하지 않아도 되는 경우

단계 1: 자신의 캐쉬에 저장된 데이터를 읽는다.

단계 2: 캐쉬에 해당 데이터가 없는 경우에는, A-TBL[x]에 속한 서버 중 하나에게 요청하여 데이터를 전송받는다.

3.2 갱신 트랜잭션 알고리즘

갱신 트랜잭션의 경우에는 해당 데이터의 주사본 노드를 통해서 갱신하고 갱신 정보는 다른 LMH 노드로 전파하여 모든 노드가 최신의 정보를 갖게 해야 한다.

단계 1: SMH 노드 x는 갱신 트랜잭션 $T_k[RS_k, WS_k]$ 을 A-TBL[x]에 속한 LMH 노드 y에 요청한다.

단계 2: 수신한 LMH y는 모든 데이터 $d_r (d_r \in RS_k)$ 과 $d_w (d_w \in WS_k)$ 의 주사본 노드를 검사한다.

(1). $d_r \in PCA(n)$ 인 노드 n이 C-TBL[y]에 포함되어 있다면 d_r 의 주사본 노드 n에게 판독 로크를 요청한다.

(2). $d_w \in PCA(n)$ 인 노드 n이 C-TBL[y]에 포함되어 있다면 d_w 의 주사본 노드 n에게 갱신 로크를 요청한다.

(3). (1)과 (2)를 만족하지 않는 경우에는 철회메시지를 SMH x에게 전송한다.

단계 3: 갱신 트랜잭션 완료된 경우에는 SMH 노드 x에게 완료 메시지를 전송하고 다른 LMH 노드들에게 [데이터 식별자, 갱신 데이터 값, LSN(Local Sequence Number), 비트맵] 정보를 저장한 U-TBL[x]를 전송한다. LSN은 주사본 노드에서 갱신 일련 번호를 의미한다. 비트맵은 갱신 정보를 전파해야 하는 LMH들의 수신여부를 표현하는 정보이다.

단계 4: U-TBL[x]를 수신한 LMH 노드들은 자신의 노드에 해당되는 비트맵에 '1'을 셋한다. 모든 노드 비트가 '1'로 되면 해당 갱신 데이터 정보는 삭제한다. 또한 동일한 데이터 식별자를 갖는 데이터에 대하여 더 큰 LSN 값을 갖는 U-TBL[x] 메시지를 이미 수신하여 반영하였다면 해당 메시지는 무시한다.

4. 결론 및 향후 계획

일반적으로 MANET을 비롯한 분산시스템 환경에서는 가용성, 신뢰성, 그리고 고성능 트랜잭션 처리를 위하여 각 센서 노드들은 중복사본을 갖는다. 하지만 이동 노드의 에너지와 고려해야 하는 MANET 환경에서는 중복사본의 일관성 유지는 어려운 문제로 지적되었다. 따라서 기존의 저전력 데이터 중복 기법은 이동 노드에서 질의를 허용하지 않거나 판독 전용 질의만을 고려하는 것이 대부분이었다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 갱신 연산을 고려한 데이터 중복 관리 기법을 제안한다.

본 논문에서는 제안하는 중복 관리 기법은 갱신 연산을 허용하는 주사본 기반 기법인 PCRA이다. PCRA는 주사본 노드를 통하여 이동 노드에게 갱신 연산을 허용하고 최신 버전을 주사본 노드가 갖게 함으로써 정확한 데

이터 정보를 액세스하기 위해서는 주사본 노드에게 요청한다. 따라서 기존의 쿼럼 기반 기법과 달리 최신 버전을 액세스하기 위해서는 여러 노드에게 질의하지 않기 때문에 통신 오버헤드를 줄일 수 있다. 그리고 주사본 노드에서는 반드시 최신 정보를 갖고 있기 때문에 데이터 일관성을 보장할 수 있다.뿐만 아니라, 갱신 연산의 경우 데이터 일관성 보장을 위한 메시지 전송 횟수를 줄임으로써 성능을 향상시킨다. PCRA의 경우 LMH는 연결 가능한 주사본 노드 그룹을 형성하여 상대적으로 적은 에너지를 소유한 SMH가 직접 주사본 노드를 액세스하는 경우의 에너지 소모를 줄일 수 있다. 하지만 데이터 일관성을 보장하기 위해서는 주사본 노드 그룹에 갱신하고자 하는 데이터의 주사본 노드가 포함되지 않은 경우에는 갱신 트랜잭션을 진행할 수 없다. 또한 기존의 알고리즘과 PCRA 알고리즘에 비교하기 위한 성능 평가 방안이 필요하다. 따라서 향후에는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발할 예정이다.

참고문헌

- [1] L. Fife and L. Gruenwald, 2003. "Research Issues for Data Communication in Mobile Ad-Hoc Network Database Systems", *SIGMOD Record*, Vol. 32, No. 2, pp. 42-47.
- [2] J. Grey, P. Helland, P.O'Neil and D. Shasha, 1997. "The Dangers of Replication and a Solution", *Proc. ACM SIGMOD*, pp. 173-182.
- [3] L. Gruenwald, M. Javed and M. Gu, 2002. Energy-Efficient Data Broadcasting in Mobile Ad-Hoc Networks. *Proc. International Database Engineering and Applications Symp.*, pp. 64-73.
- [4] T. Hara, 2001. "Effective Replica Allocation in Ad Hoc Networks for Improving Data Accessibility", *IEEE INFOCOM*, pp. 1568-1576.
- [5] T. Hara and S. Madria, 2004. "Dynamic Data Replication Using Aperiodic Updates in Mobile Adhoc Networks", *Proc. Intl. Conf. DASFAA, LNCS 2973*, pp. 869-881.
- [6] J. Holloday, D. Agrawal and A. Abbdai, 2000. "Planned Disconnections for Mobile Databases", *DEXA Workshop*, pp. 165-172.
- [7] G. Karumanchi, S. Muralidharan and R. Prakash, 1999. "Information Dissemination in Partitionable Mobile Ad Hoc Networks". *Symposium Reliable Distributed Systems*, pp. 4-13.
- [8] B. Kemme and G. Alonso, 2000. "A New Approach to Developing and Implementing Eager Database Replication Protocols". *ACM Trans. Database Syst.*, Vol. 25, No. 3, pp. 333-379.
- [9] C. Perkins, 2001. *Ad Hoc Networking*. ADDISON-WESLEY.
- [10] M. Tamori, S. Ishihara, T. Watanabe and T. Mizuno, 2002. "A Replica Distribution Method with Consideration of the Positions of Mobile Hosts on Wireless Ad-hoc Networks," *Proc. Intl. Conf. Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'02)*.