

수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service

김희정^o, 손영성, 남궁한
한국전자통신연구원
e-mail : heejkim@etri.re.kr

A Concurrent Notification Service with a Consistency and Atomicity Guarantee on Subscribers

Hee-Jeong Kim^o, Young-Sung Son, Han Namgoong
ETRI

요 약

본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 **Concurrent Notification Service** 는 일반적인 **Publish-and-Subscribe** 모델의 **Notification** 서비스에서는 처리할 수 없었던 수신자를 예측하는 기능, 다른 수신자들이 허락하지 않은 송신자로부터의 메시지를 여과하는 기능, 원자성(Atomicity)을 지원하기 위하여 그룹 통신 시스템의 멤버십 관리 기법을 도입한다. 또한, 이동 인터넷 환경이나 원격지 통신에서와 같이 불안정한 네트워크 환경에서 자주 발생하는 서버와 수신자들간의 통신 단절로 인하여 발생할 빈번한 멤버십 변경과정의 부하를 줄일 수 있는 용통성 있는 멤버십 관리 알고리즘을 설계한다. 그리고, 서버 측 메시지 버퍼에서 서로 관계가 없는 메시지들의 병행 처리할 수 있도록 설계하여 처리 속도를 향상시킬 수 있다. 이를 통하여 응용 개발자는 수신자들의 일관성과 원자성을 보장하는 응용의 개발을 단순화할 수 있으며 동시에 고성능을 기대할 수 있다.

1. 서론

CSCW, 중복 데이터베이스, 그룹웨어와 같이 공동의 목적을 위하여 공용 데이터를 복제 관리하는 응용은 고장 감내, 성능 향상, 고 가용성의 효과를 기대할 수 있지만, 각 참여 개체가 자체적으로 관리하고 있는 공용 데이터의 일관성을 유지하는 일이 이러한 응용을 개발하는 데 있어서 가장 큰 어려움이다. [4, 6].

Notification 서비스는 이러한 동기화나 그룹웨어를 위한 제반 수단으로써 사용되는데, 클라이언트들은 **Notification** 서비스를 통해 자신의 상태 정보 중 일부를 일관되게 공유하고 조정할 수 있다. 결과적으로 클라이언트들은 분산된 시맨틱 하의 자율성을 가지면서도 중앙 집중적인 일관된 상태 정보를 공유할 수 있다. [7]

일반적인 **Publish-Subscribe** 모델의 **Notification** 서비스에서는 송신자가 인지하고 있는 수신자들로의 메시지 전달을 보장할 수 없다. 불안정한 네트워크로 인하여 손실되는 메시지나 일시적으로 통신이 단절된 수신자로 메시지 전달문제는 재전송과 **durable**

subscription 과 같은 신뢰성 있는 메시지 전송을 통하여 해결할 수 있지만, 송신자가 메시지를 보낼 당시 인지하고 있던 수신자가 메시지 전달 과정에서 **Subscription** 등록을 해제하거나 새로운 수신자가 참여할 경우는 송신자가 기대한 수신자 리스트 정보가 신뢰 될 수 없다. 뿐만 아니라, 송신자가 인지하고 있는 모든 수신자들에게 전달하지 못할 때는 모든 수신자들이 그 메시지를 무시하기를 바라는 **all or nothing** 개념의 원자성(atomic) 다중전송을 지원하지 않는다.

서버 기반 구조는 과금의 용이성, 단순한 병행성 제어, 이동 단말의 낮은 처리 능력 보완할 수 있다는 점, 인터넷 서비스 지원이나 구조방화벽을 가진 **Peer-to-Peer** 모델에 대한 해결책이 된다는 점에서 많은 메시징 시스템에서 채택되고 있다. 서버 기반의 중앙 집중형 구조는 의견 수렴 시에 각 멤버 프로세스의 처리 속도나 네트워크 성능에 따라 모든 멤버들의 전반적인 성능 저하를 유도할 수도 있다는 문제를 가지며, 서로 의존성이 없는 메시지들간에도 동기화가 발생하여 관계없는 다른 메시지에 의해 처리순서가 미루어

진다는 문제가 발생한다. [4]

본 논문은 위와 같은 문제점들을 해결하여, 수신자들에게 일관성과 원자성을 보장함과 동시에 서버상의 메시지 처리 속도를 향상시킬 수 있는 Notification Service 의 설계와 구현을 설명한다.

2. 요구사항

본 논문에서 설명하는 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service 는 다음과 같은 요구사항을 해결하기 위하여 설계되었다.

우선, 수신자들은 허락한 송신자로부터의 메시지만 받도록 선택할 수 있고, 송신자는 송신 당시 인자하고 있었던 리스트들로 수신자를 한정할 수 있다. 이를 통하여 송신자는 메시지의 수신자들을 예상할 수 있으며, 결과적으로 그 메시지의 실행 결과를 예측할 수 있다.

수신자들이 공용 데이터를 복제 관리하고 있을 때 새로운 수신자가 참여한다면, 새 수신자를 포함한 모든 수신자들이 일관된 공용 데이터를 유지할 수 있도록 지원한다. 동시에 모든 수신자가 수신함이 보장되지 않을 때는 모든 수신자들에게서 무시될 것을 요구하는 원자성 다중전송 메시지를 지원한다.

이동 인터넷 컴퓨팅이나 원거리 통신이 빈번한 현대의 컴퓨팅 환경에서는 절전 모드, 접속점 이동, 네트워크 불안정성 등으로 인하여 서버와 수신자간의 연결이 단절되는 고장 수신자가 자주 발생하는데, 이는 단절된 멤버와 타 수신자들과의 일관성을 유지할 수 없다는 의미이므로 이에 대한 대처가 필요하다.

중앙 집중식 서버 내의 버퍼에서 서로 인과 관계가 없는 메시지들이 일괄적으로 순서화 되어 무관한 메시지에 의해 대기 되는 비효율성을 제거한다. 다른 수신자의 프로세스나 네트워크 성능에 대한 의존도를 줄일 수 있도록 한다.

3. 설계

3.1. 수신자 리스트 관리를 통한 수신자들의 일관성과 원자성 보장

일반적인 Publish/Subscribe 메시지 모델의 송신자는 자신이 보내는 메시지를 어떤 수신자들이 받을지 예상할 수 없으며, 모든 수신자들이 일관된 메시지를 받는다는 것을 보장할 수 없다. 본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service 는 일반적인 Publish-and-Subscribe 모델의 Notification 서비스에서는 처리할 수 없었던 송수신자 한정과 원자성을 지원하기 위하여 그룹 통신 시스템의 멤버십 관리 기법을 도입한다. 여기서 멤버는 Notification 서비스의 특정 관심사에 대하여 발생하는 변경을 통보 받고자 등록한 Subscriber 들의 리스트를 의미하며 Subscribe 와 Publish 기능을 함께 가지는 클라이언트 또한 포함할 수 있다.

Subscriber 리스트들로 구성된 멤버십 정보는 응용이 구동된 이후에도 응용의 자발적이고 명시적인 참

여· 또는 탈퇴 요청 또는 통신 단절로 인한 강제적인 탈퇴 처리에 의하여 수시로 변경 가능한 동적 멤버십 특성을 가진다.

멤버십 정보는 사용자의 명시적인 참여/탈퇴 요청에 의해 자발적으로 이루어질 수도 있으나 통신 결합으로 인해 강제로 변경될 수도 있다. 멤버 프로세스나 네트워크 고장에 의해 Notification 서버와 통신이 불가능한 멤버가 생기면, 이 고장 멤버는 다른 멤버들이 수신할 메시지를 받을 수 없으며 결과적으로 이 멤버가 가진 공유 상태 전보의 일관성을 보장할 수 없으므로 멤버 리스트로부터 강제 탈퇴 되어야 한다. 추후에 결합이 복구된 멤버는 새로이 멤버십으로 참석 요청을 보내어 재참여할 수 있다.

멤버십이 변경될 때마다 멤버십 서비스는 현재 등록된 모든 멤버들에게 새 멤버십 정보를 알려줌으로써, 멤버들은 일관성을 보장할 수 있는 동료 멤버 리스트들을 확인할 수 있다.

멤버십 정보는 멤버 리스트와 함께 멤버 리스트가 변경될 때마다 증가하는 멤버십 버전 정보도 포함한다. Notification 서비스의 멤버는 메시지를 보낼 때 이 버전 정보를 동봉하는데, 응용의 선택에 따라 Notification 서비스는 서버내의 현재 멤버십 정보와 메시지에 동봉된 멤버십 정보-멤버 리스트와 버전-를 비교하여 동일한 멤버십 상태에서 발송된 메시지만을 전달할 수도 있다.

멤버십 변경이 발생하면, 멤버십 서비스는 현재 등록된 모든 멤버들에게 변경 사실을 통보하는데, 멤버들은 일관성을 보장할 수 있는 동료 멤버 리스트들을 확인할 수 있다. 멤버십 서비스는 새 멤버십 변경 통보 메시지에 이어 이전 멤버십에서 발생한 메시지들을 flush 한다. 멤버십 변경 통보 메시지를 받은 모든 멤버들은 새로운 메시지 생성/발송을 중단시키고 이전 멤버십에서 발생한 flush 메시지들을 받아 응용으로 넘기고 새 멤버십에 대한 동의를 의미하는 ACK 을 서버측의 멤버십 서비스로 보낸다. 멤버십 서비스는 모든 멤버들로부터의 ACK 을 취합하여 새 멤버십의 멤버 리스트를 확인한 다음 새 멤버십 설치 메시지를 멤버들에게 보내며, 그 멤버십 설치 메시지를 받은 멤버들은 다시 일관성을 보장하는 Notification Service 로 메시지를 송수신할 수 있다.

이러한 멤버십 정보를 사용하여 송신자는 수신자 리스트를 한정할 수 있고, 수신자 또한 현재 멤버십에 등록된 허락된 송신자로부터의 메시지만을 수신할 수 있다.

모든 수신자들의 수신이 보장될 때에만 수신 응용에게 전달되기를 원할 때 선택할 수 있는 원자성 다중전송을 지원하기 위해서도 멤버십 정보를 사용할 수 있다. 원자성을 원하지 않은 메시지는 수신자가 받는 즉시 응용에게 전달되지만, 원자성을 원한 메시지를 받은 수신자는 ACK 메시지만을 서버로 보낸 뒤, Notification Service 가 모든 수신자들로부터의 ACK 을 취합하여 응용으로의 전달을 허락할 때까지 대기시킨다. Notification Service 는 멤버십 정보 내의 모든 멤버들로부터 ACK 을 받은 후 응용으로의 전달을 허락하

는 Confirm 메시지를 멤버들에게 보낸다. 수신자들은 비로소 메시지를 응용에게 넘길 수 있다.

부가적으로 각 수신자들이 공용 데이터를 복제하여 관리하고 있다면, 새로운 수신자에게 현재까지 진행된 공용 데이터 정보를 전달함으로써, 새로운 수신자를 포함한 모든 수신자들이 가진 공용 데이터의 일관성을 보장할 수 있도록 상태 전송(State Transfer) 서비스를 지원한다.

3.2. 불안정한 네트워크 환경에서의 빈번한 멤버십 변경 비용 감소

네트워크 또는 멤버 프로세스의 고장으로 인해 서버와 연결이 단절된 고장 멤버는 타 수신자들과의 일관성을 유지할 수 없으므로, 그 고장 멤버를 모니터링 하여 멤버십으로부터 제거하여 정확한 현재 멤버십 정보를 유지해야 한다. 강제 탈퇴되었던 멤버가 복원되고 다시 서버에 연결되면 멤버십에 재참여할 수 있다.

이동 인터넷 컴퓨팅이나 원거리 통신이 빈번한 현대의 컴퓨팅 환경에서는 절전 모드, 접속점 이동(hand-off), 네트워크 불안정성 등으로 인하여 서버와 수신자간의 연결이 단절되는 고장 멤버가 자주 발생하는데, 강제적인 멤버십 탈퇴와 뒤따른 재참여 과정이 빈번하게 발생할 수 있다. 따라서, 문제 멤버를 제거하는 멤버십 변경과 다시 재참여하는 멤버십 변경 시마다 위의 멤버십 변경 과정을 반복해야 한다는 부하가 있다. 또한 모바일 환경에서 통신 단절의 특징은 프로세스나 네트워크의 결함으로 인한 실제 통신 단절이 아니라, hand-off나 절전모드 또는 긴 지연시간으로 인한 장애일 뿐, 사실상은 연결된 상태일 가능성이 높다는 것이다. 결과적으로 통신 단절이 모니터링된 문제 멤버를 멤버십으로부터 강제 제거한 후, 해당 멤버가 그룹에 재참여할 빈도 또한 높으며, 심지어는 모니터링 후 멤버십 변경 도중에 문제 멤버와의 연결이 복구될 가능성이 크다. 따라서, 본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Notification Service는 효과적으로 이러한 통신 환경을 지원하기 위하여, 재참여하는 멤버를 지원하기 위한 방안과 탄력적인 멤버십 변경 정책을 채택하였다.

앞 절에서 설명된 바와 같이 멤버십 변경 통보 메시지가 모든 멤버들에게 전달되면 멤버들은 새 메시지를 발송할 수 없다. 서버측에서 멤버십 변경 이전에 발생한 모든 메시지들을 flush 한 다음, 새 멤버십 설치 메시지가 멤버들에게 전달된 이후에서야 멤버들은 메시지 발송을 지속할 수 있다. 그러나, 본 논문의 Notification Service는 순간적인 통신 단절에 대비하여, 새 멤버십 설치 메시지가 멤버들에게 발송되기 전까지만 재참여 한다면, 기존 멤버십 상태가 다시 계속된다. 문제 멤버를 $m1$, 기존의 멤버십 버전을 $v(i)$ 로 가정할 때, 아래의 [표 1]에서 설명된 바와 같이 멤버십 변경 과정을 단순화시켜 부하를 줄일 수 있다.

[표 1] 단순화된 멤버십 변경 과정

기존의 멤버십 변경 과정	단순화된 멤버십 변경 과정
① $m1$ 이 제거된 $v(i+1)$ 통보	① $m1$ 이 제거된 $v(i+1)$ 통보
② blocking & flush	② blocking & flush
③ $v(i+1)$ 설치	③ $v(i+1)$ 통보 취소 및 $v(i)$ resume 명령
④ 통신 복구 후 $m1$ 이 추가된 $v(i+2)$ 통보	
⑤ blocking & flush	
⑥ $v(i+2)$ 설치	

또한, 재참여하는 멤버들이 상태 전송 서비스를 원할 경우는 기본 Notification Service의 durable subscription 기능을 활용하여 통신 단절 기간동안 보내진 메시지들만을 전송 받음으로써, 빠른 시간 내에 타 멤버들과의 일관성을 유지할 수 있다.

3.3. 서버측의 메시지 병행 처리

서버 기반의 중앙 집중적 수행 구조는 멤버들의 복제 데이터의 일관성 유지는 용이하지만, 모든 메시지의 일괄적 순서화나 다른 수신자의 프로세스 또는 네트워크 성능에 대한 의존성으로 인하여 불필요한 대기 시간이 발생한다는 한계가 있다. 본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service는 성능에 영향을 미치는 불필요한 동기화과정을 경량화 시킴으로써, 멤버간의 복제 데이터의 일관성 유지와 효율적인 병렬 수행의 요구를 동시에 만족시킨다.

우선, 같은 그룹을 대상으로 보내진 메시지들이라고 할지라도 서로 인과관계가 있는 메시지들간에만 순서화를 시키면서 서로 무관한 메시지들을 병행 처리한다. Notification Service에서 송신자가 보낸 메시지는 반드시 보낸 순서대로(FIFO) 수신자들에게 전달되어야 하며, 전송서화(Total Order)를 요구한 메시지들은 모든 멤버들에게 같은 순서대로 전달되어야 한다.

본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service는 우선 서버 내 메시지 버퍼에 다중 스트림 개념을 적용하였다. 메시지들간의 순서화는 같은 스트림 내의 메시지들 간에서만 의미가 있으며, 서로 인과관계가 없는 메시지들은 별도의 스트림에 버퍼링되도록 한다. FIFO 순서화 기본 요구를 충족시키기 위하여 같은 송신자로부터의 메시

지들은 같은 스트림에 차례로 저장되며, 전순서화를 요구한 메시지는 전순서화를 위해 할당된 전용 스트림에 저장된다. 각 스트림은 일종의 쓰레드로서 각자 자신이 받은 메시지들을 차례로 멤버 송신 쓰레드에 넘기며, 이로써 인과관계가 없는 메시지들간의 동기화 과정을 제거한다.

다중 스트림의 적용과 동시에 각 멤버로의 전송을 담당하는 송신 쓰레드를 채택함으로써, 멤버들간의 통신 능력 차이로 인한 대기 과정을 제거한다.

4. 구조도 및 구현

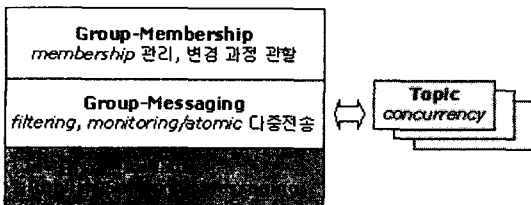
본 논문의 수신자들간의 일관성과 원자성을 보장하는 Concurrent Notification Service 는 JDK 1.3 을 사용하여 [그림 1]과 같이 신뢰성을 보장하는 기본 Notification Service 상에서 구현되었다.

본 논문에서 제안된 Notification Service 는 Publish-Subscribe 방식의 기본 Notification Service 이외에 크게 3 개의 개체로 구성되어 있는데, Group-Messaging, Group-Membership, Topic 이 구성요소이다.

Topic 개체는 각 그룹으로 보내진 메시지를 버퍼링하기 위한 자료구조로서, 다중 스트림을 통한 병행 처리를 지원한다.

Group-Messaging 개체는 각 그룹의 전반적인 그룹 통신 메커니즘을 관할하는데, 각 그룹을 위한 Topic 개체를 생성하는 초기화 작업과 메시지 저장 및 전송을 담당한다. Topic 에 저장하기 전에 서버상의 멤버십 정보와 메시지에 동봉된 멤버십 정보를 비교하여 초과하거나 atomic 다중전송 메시지나 멤버십 변경 통보 메시지에 대한 ACK 을 취합하는 역할도 담당한다. ACK 을 보내지 않는 고장 수신자를 모니터링 하는 역할도 담당한다.

Group-Membership 개체는 응용으로부터의 멤버십 변경 요청 메시지 또는 Group-Messaging 계층으로부터의 고장 멤버 감지 메시지를 받아 멤버십 정보를 갱신하고 변경 통보 메시지를 보내는 등의 멤버십 변경 과정을 관할하는 역할을 담당한다.



[그림 1] 제안된 Notification Service 의 구조도

5. 결론

본 논문에서 제안하는 Notification 서비스는 그룹 통신 시스템의 멤버십 관리 기법을 도입하여 일반적인 Publish-and-Subscribe 모델의 Notification 서비스에서는 처리할 수 없었던 수신자를 예측하는 기능, 다른 수신자들이 허락하지 않은 송신자로부터의 메시지를 여과하는 기능, 원자성을 지원한다. 이러한 멤버십 정

보를 활용하여, 각 수신자들이 공용 데이터를 복제하여 관리하고 있을 때 새로운 수신자에게 현재까지 진행된 공용 데이터 정보를 전달함으로써, 새로운 수신자를 포함한 모든 수신자들이 가진 공용 데이터의 일관성을 보장할 수 있도록 상태 전송 서비스도 지원할 수 있다. 또한, 서버와 수신자들간의 통신단절이 자주 발생하는 이동 인터넷 컴퓨팅 환경을 고려하여 빈번한 멤버십 변경 과정의 부하를 줄일 수 있는 융통성 있는 멤버십 관리 알고리즘을 설계한다.

본 논문의 Notification 서비스는 서버 기반 중앙 집중형 구조에서 발생하는 모든 메시지의 일괄적 순서화라는 불합리성과 다른 수신자의 프로세스 성능이나 네트워크 성능 의존성을 지양하기 위하여, 같은 그룹을 대상으로 보내진 메시지들이라고 할지라도 서로 인과관계가 있는 메시지들간에만 순서화를 시키면서 서로 무관한 메시지들을 병행 처리될 수 있도록 하였다.

이러한 설계를 통하여 이를 통하여 응용 개발자는 수신자들의 일관성과 원자성을 보장하는 응용의 개발을 단순화할 수 있으며 동시에 고성능을 기대할 수 있다.

참고문헌

- [2] D. A. Agarwal, L. E. Moser, P. M. Melliar-Smith, and R. Budhia, "A Reliable Ordered Delivery Across Interconnected Local-Area Networks," In Proceedings of the International Conference on Network Protocols, Tokyo, Japan (November 1995), 365-374.
- [3] K. Birman, A. Schiper and P. Stephenson, "Lightweight Causal and Atomic Group Multicast," ACM Transactions on Computer Systems, 9, 3, (August 1991), 272-314.
- [4] K. Birman and T. A. Joseph, "Exploiting Virtual Synchrony in Distributed Systems," 11th ACM Symposium on Operating Systems Principles, February 1987. Also appears as Operating Systems Review, December 1987, pp. 123-138.
- [5] C. Bormann, J. Ott, H.-C. Gehrcke, T. Kerschhat & N. Seifert, "MTP2: Towards achieving the S.E.R.O. properties for multicast transport", Proceedings ICCCN'94, International conference on computer communications and networks, 1994.
- [6] G. Coulouris, J. Dollimore and T. Kindberg, "Distributed Systems, Concepts and Design, 2'nd edition," Addison-Wesley.
- [7] M. Day, J. F. Patterson, and D. Mitchell, "The Notification Service Transfer Protocol(NSTP): Infrastructure for Synchronous Groupware," WWW6 / Computer Networks 29(8-13): 905-915 (1997).
- [8] H. J. Kim, D. Lee, and H.Y. Youn, "A Scalable Membership Service for Group Communication in WANs," IEEE 2000 Pacific Rim Int'l Symp. on Dependable Computing (PRDC 2000), Dec. 2000.
- [9] H. J. Kim, "Scalable Layered Membership Service for Group Communications in WANs," Master Theses, ICU, Aug. 2000