

분산 협동 환경을 위한 객체 중심 동시성 제어 기법

양정화, 이동만

한국정보통신대학원대학교

Entity-centered Concurrency Control Scheme for Collaborative Virtual Environments

Jeonghwa Yang (jhyang@icu.ac.kr), Dongman Lee (dlee@icu.ac.kr)
Information and Communications University

요 약

대규모 분산 협동 환경에서 다수의 참여자에게 상호 작용 성능을 지원 해주기 위한 확장성 있는 예측 기반 동시성 제어 방법을 제안한다. 예측 기반 동시성 제어는 낙관적 (optimistic) 방법과 같이 참여자들에게 실시간 상호 작용 성능을 제공하고, 비관적 (pessimistic) 방법과 같이 잠금(lock)이 부인될 경우 복구가 필요 없다. 본 논문에서는 소유자 예측을 위하여 객체 기반 다중 전송 그룹을 개발했다. 관심 있는 객체 주변에 있는 사용자들만 그 객체 다중 전송 그룹에 할당된 주소에 참여 함으로써 소유권 예측을 위한 소유권 요청을 할 수 있다. 이 방식에서는 소유자는 가상 영역 내의 모든 사용자 대신 이 다중 전송 그룹에 참여하고 있는 사용자로부터만 메시지를 받으므로 소유자가 받는 메시지 수는 현저히 감소되어 소유자는 요청 처리 시간이 줄어들고 따라서 보다 더 정확한 예측을 할 수 있다. 분석을 통하여 제안된 동시성 제어 방식이 대규모 가상 환경에서 갖는 효율성과 확장성을 증명한다.

1 서론

분산 협동환경에서는 분산된 사용자들이 가상공간을 공유 하면서, 그 공간 내에서 다른 참여자들 또는 가상환경내의 객체들과 상호작용을 할 수 있다 [6, 8]. 많은 분산 협동 환경 시스템들이 참여자들에게 자연스러운 상호작용을 제공하기 위해서 데이터를 로컬 시스템에 복제한다.

복제는 사용자에게 빠른 반응 시간 (response time) 을 제공 하지만, 각 참여자는 자신이 변경한 데이터를 먼저 처리하고, 다른 참여자가 수정한 내용을 처리하므로, 참여자들은 서로 다른 순서로 데이터를 처리하게 되어 서로 다른 상태의 데이터를 갖게 되고 인식의 일관성을 잃게 된다 [2, 7]. 따라서 일관성을 유지하기 위해 같은 객체가 동시에 변경될 수 없도록 하는 동시성 제어가 필요하다.

본 논문에서는 확장성 있는 동시성 제어를 위해 객체 중심의 예측 기반 동시성 제어 기법을 제안한다. 관심 있는 객체 주변에 있는 사용자들만 그 객체에 할당된 다중 전송 주소를 통하여 소유권 예측을 위한 소유권 요청을 할 수 있다. 소유자는 가상 영역 내의 모든 사용자 대신 이 다중 전송 그룹에 참여하고 있는 사용자로부터만 메시지를 받으므로 소유자가 받는 요청 메시지 수가 작고, 그러므로 소유자의 요청 처리 시간이 줄어든다. 소유자는 객체 다중 전송 그룹의 맴버인 객체를 조작할 가능성이 높은 사용자들로부터만 요청을 받고, 이 요청 중 다음 소유자를 결정하므로 보다 정확한 예측을 할 수 있고, 제 시간에 소유자 후보에게 잠금을 보낼 수 있

다.

2장에서는 기존의 분산 협동 환경에서의 동시성 제어를 위해 제안된 방법에 대하여 기술하고, 3장에서는 제안한 예측 기반 동시성 제어 알고리즘을 상세하게 설명한다. 4장에서는 기존의 예측 방식과 비교하여 제안된 알고리즘의 효율성과 확장성을 분석한다.

2 관련 연구

기존의 동시성 제어는 크게 비관적 방식과 낙관적 방식으로 나눌 수 있으며, 이 두 가지 방식을 접목한 예측 방법이 있다.

비관적 방식은 DIVE[3], WAVE[4], SPLINE[10] 등에서 사용되는데 사용자가 데이터를 수정하기 위해서 잠금을 받을 때까지 기다려야 하므로, 사용자 상호 작용이 방해받을 수 있다. 특히 인터넷 같은 WAN 환경에서는 반응 시간은 훨씬 늦어진다.

낙관적 방식은 잠금에 대한 응답을 기다리지 않고, 요청 후 즉시 데이터를 수정하는 것을 허용하여 상호 작용의 효율을 높이나, 다른 사용자와 충돌이 일어나서 잠금 부인 (denial) 메시지를 받으면, 데이터 수정 전의 상태로 돌아가야 하므로 사용자를 혼란스럽게 한다 [2]. CIAO[9] 에서 상호 작용 성능을 위하여 준 낙관적 방식 (semi-optimistic)을 이용한다.

예측 방법은 잠금을 요청할 사용자를 예측하여 그 사용자가 데이터를 수정하기 전에 미리 잠금을 주는 방식으로, 사용

자가 잠금을 승인 받은 후 데이터를 수정하므로 비관적 방식처럼 완벽한 일관성을 제공할 수 있고, 사용자가 데이터를 수정하기 전에 잠금을 받기 때문에 잠금 응답에 필요한 지연 없이 바로 수정을 할 수가 있으므로 낙관적 방식처럼 반응 시간이 빠르다. 예측 방법의 핵심은 잠금을 미리 줄 사용자를 정확하게 예측하는 것이다. 만일 예측이 틀릴 경우는 예측 방식을 사용하지 않는 것보다 느린 반응 시간 지연을 초래할 수 있기 때문이다. Prospero[1] PaRADE[7] 가 예측 방식을 채택하고 있다. 기존의 예측 방식은 상호작용을 하고자 하는 참여자들이 영역 (region) 에 할당 된 다중 전송 주소를 통하여 잠금 소유자에게 미리 잠금을 요청하고, 소유자는 이 요청들을 기반으로, 다음 소유자를 예측하여 잠금을 전송한다. 그러나 가상공간 내에 사람 수와 객체 개수가 증가함에 따라, 소유자가 받아서 처리해야 할 요청의 숫자는 증가하게 되고, 잠금 요청 처리 시간이 길어진다. 결국 소유자 후보는 잠금 메시지를 제시간에 받지 못하게 되거나, 소유자 후보가 제시간에 잠금을 받기 위해서는 잠금 요청을 더 일찍 해 한다.

3 객체 중심 예측 기반 동시성 제어

소유자 예측의 핵심은 객체와 상호작용 할 사용자를 정확하게 예측하고 그 사용자가 객체를 조작하기 전에 소유권 (ownership)을 받도록 하는 것이다. 만일 잘 못 예측했을 경우에는 소유권을 빨리 다른 사용자에게 재전달 해주는 알고리즘도 필요하다. 예측을 위해 필요로 하는 통신 과부하도 크지 않아야 한다.

3.1 소유자 예측을 위한 상호 작용 휴리스틱

일반적으로 사용자는 객체를 조작할 때, 목표로 하는 객체에 가까이 간다. 소유자 예측은 공간 근접성 (spatial proximity) 을 기본으로 한 휴리스틱에 기반을 두고 있다. 다음 단락에서 설명할 Entity Radius가 공간 근접성을 나타내기 위해서 정의되었다. 특정 객체의 Entity Radius에 들어가는 사용자는 그 객체에 관심이 있다는 것으로 간주된다.

3.2 객체 중심 다중 전송 그룹을 통한 소유권 전송

동시성 제어를 위해 필요한 통신량과 계산 시간 과부하를 줄이기 위해서 객체 중심 다중전송 그룹을 개발했다. 가상 세계 영역 관리자 (Region manager)는 객체의 Entity Radius 에 도착했음을 알리는 첫 번째 충돌 감지 (collision detection) 메시지를 받으면 동적으로 다중전송 주소를 할당하고 이 다중전송 주소를 가상 영역 내의 모든 사용자들에게 알린다. Entity Radius 내에 사용자가 없을 때는 할당된 어드레스를 재사용 하기 위해 다시 요구한다.

그림 1은 상호 작용 휴리스틱에 기초해서 예측을 위하여 정의된 변수들을 도식화 한 것이다.

Entity Radius 객체 주변의 일정 영역

Distance 사용자 아바타(avatar)와 대상 객체와의 거리
Speed는 애플리케이션에서 사용자가 설정한 가상 공간에서의 아바타의 항해 속도

Direction 최근의 두 Distance 값으로부터 구해지는, 객체에 대한 아바타의 움직이는 방향. $Direction = Distance2 - Distance1$ (Distance2: Time2 에서의 거리, Distance1: Time1 에서의 거리, $Time2 > Time1$).

Direction은 마이너스, 제로, 플러스의 3가지 종류의 값을 갖는데, Avatar 가 객체에 가까이 가고 있을 때는 플러스 값을, 멀어지고 있을 때는 마이너스 값을, 멈춰 있을 때는 제로 값을 가짐.

Predicted Collision Time avatar 가 객체와 충돌할 예상 시간. $Predicted\ Collision\ Time = Distance / Speed$

Latency 현재 소유자와 참여자 간의 통신 지연 시간

Owner Candidate Queue 소유자 후보에 관한 정보를 저장하고 있는 데이터 구조

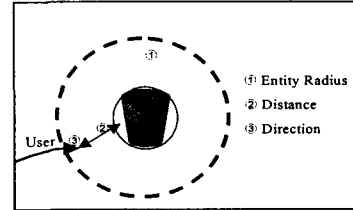


그림 1: Owner prediction attributes

3.3 예측 알고리즘

다음은 소유자 후보가 현재 소유자로부터 소유권을 얻는 알고리즘을 설명한다.

사용자는 자신의 아바타가 Entity Radius에 도착했을 때 아바타의 Direction 을 조사한다. Direction 이 플러스라는 것은 아바타가 Entity Radius에 들어가고 있다는 것을 의미하며, 마이너스라는 것은 아바타가 객체로부터 멀어지고 있다는 것을 의미한다. Direction 이 플러스인 사용자만 소유자 후보가 될 수 있고, 객체 다중전송 그룹에 참여(join) 메시지를 보냄으로써 그룹 멤버임과 동시에 소유자 후보가 된다

현재 소유자는 새 소유자 후보로부터 참여 메시지를 받으면 새 멤버를 자신의 소유자 후보 큐에 저장한다. 소유자 후보 큐에는 모든 소유자 후보의 현재 Speed, 최근 두 개의 Distance 값, Predicted Collision Time 그리고 Latency가 저장 되어 있으며, 현재 소유자에 의해 계속 갱신된다. 가상환경에서, 아바타의 변경된 위치는 다른 사용자들과 일관성을 유지하기 위해서 같은 가상 영역 안에 있는 모든 사용자에게 다중전송 된다. 현재 소유자는 이 위치 변경 정보로부터 그룹 멤버들의 Distance를 구한다. Direction 은 두개의 최근 Distance 값으로부터 결정 될 수 있고, Predicted Collision Time 은 Distance 가 변경될 때마다 계속해서 변경된다. Latency는 소유자 후보로부터 받은 메시지로 부터 구할 수 있다.

다음 소유자를 예측하는 것은 현재 소유자의 책임이다. 소유자는 그의 소유자 후보 큐의 정보를 바탕으로 다음 소유자를 예측한다. Direction이 플러스인 사용자 중 Predicted Collision Time 이 가장 빠른 사용자에게 소유자 후보 큐의 정보와 함께 소유권을 양도한다. 예측 오류를 줄이기 위하여 소유자는 다음 소유자가 객체와 상호작용을 시작하기 바로 전까지 소유권 보내는 것을 보류한다. 소유권이 다음 소유자에게 도착할 시간을 측정하여 그 시간에 보낸다. 시간은, $(Predicted\ Collision\ Time - Latency)$ 으로 계산할 수 있다.

Entity Radius 에 사용자가 없을 때는 영역 관리자가 소유자가 된다. 첫 소유자 후보는 Entity Radius 에 도착했을 때 영역 관리자로부터 소유권을 받는다. 소유권을 받은 사용자는 객체를 조작할 수 있으며, 조작을 끝낸 후 소유자는 다른 사

용자에게 소유권을 전달한다. 소유자 후보가 없으면, 소유권은 영역관리자에게 전달된다.

3.4 복구 알고리즘

잘못된 예측은 실제 객체를 조작하는 사용자에게 소유권이 늦게 전달 되게 함으로써 그 사용자의 상호작용이 늦어지게 한다. 이러한 상호 작용 지연을 최소화하기 위한 복구 알고리즘이 필요하다. 예를 들어 사용자가 상호작용을 할 의도로 객체에 다가가서 소유권을 받은 뒤, 객체에 도착하기 전에 마음이 바뀌거나, 단지 구경할 목적으로 객체에 가까이 갔는데, 소유권을 받았다면, 이 예측은 잘 못 되었고, 소유권 전송은 즉시 보정 되어야 한다. 본 동시성 제어 알고리즘에서는 복구를 위해, 사용자는 일단 객체로부터 멀어지면, 그 객체와 상호작용을 할 의사가 없을 것이라는 가정을 하였다. 이 가정에 기초하여 소유권을 받은 소유자 후보가 객체에 도착하기 전에 Direction이 마이너스가 되면, 상호작용 할 의사가 없는 것으로 간주되어 즉시 다음 소유자를 예측해서 소유권을 그에게 보낸다.

소유자가 객체에 도착하기 전에 다른 사용자로부터 충돌 감지 메시지를 받았을 경우에도 즉시 그 사용자에게 소유권을 양도한다.

그림 2는 예측 및 복구 알고리즘 예를 도식화 한 것이다.

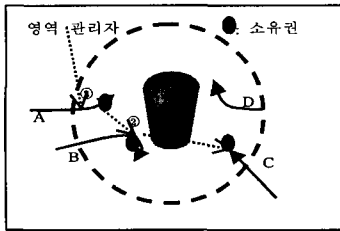


그림 2: 소유자 예측 및 복구 시나리오

A는 Entity Radius 에 처음으로 도착하고 A 의 Direction 이 플러스이므로 영역관리자로부터 소유권을 받는다.(그림2의 ①) 객체 조작을 끝내고 A는 소유자 후보 큐에 있는 정보를 바탕으로 하여 Direction 이 플러스인 소유자 후보 중 가장 빠른 Predicted Collision Time 을 갖는 B에게 소유권을 양도한다.(그림2의 ②) 그런데 소유권을 받은 B가 조작 하지 않고 지나가므로 B의 Direction 이 마이너스가 되어 즉시 예측한 다음 소유자 C에게 소유권을 재전달 한다.(그림2의 ③)

4 분석 및 결론

가상 쇼핑물과 같은 대규모 가상환경에서 사용자에게 지연 없이 상호작용을 할 수 있게 함과 동시에 일관성을 보장하는 예측 기반 동시성 제어 방법을 제안하였다.

본 장에서는 제안된 동시성 제어 방법을 확장성과 효율성 관점에서 분석하고 앞으로 해야 할 일을 기술한다.

첫째, 정확한 예측과 동시에 필요한 메시지 숫자를 줄이기 위하여 객체 중심 다중 전송 그룹을 개발하였다. 소유권 요청과 양도 메시지가 영역 내의 모든 사용자가 아닌 객체 그룹 멤버에게만 전달되므로 메시지 숫자와 대역폭 사용량을 줄일 수 있다. 현재 소유자는 같은 객체 다중전송 그룹에 참여해 있는 사용자로부터만 메시지를 받으므로 처리해야 할 요청 메

시지 숫자가 작아, 제 시간에 다음 소유자 후보에게 소유권을 전달 할 수 있다.

둘째, 본 알고리즘은 간단하고 구현이 쉽다. 예측을 위해 추가적으로 해줘야 하는 것은 소유자 후보의 현재 Distance 를 계산하는 것이다. Direction, Predicted Collision Time 은 Distance로부터 쉽게 얻어질 수 있다. 따라서 예측에 필요한 계산 과부하는 무시할만큼 작다. 또한, 소유자 후보 큐에는 몇 개의 정수와 실수 값만 저장하면 되므로 필요한 데이터 스페이스도 매우 작다.

셋째, 본 예측 알고리즘은, 소유권을 미리 받기 위해 사용자가 애플리케이션에 정보를 주는, 사용자의 프리-액션 (pre-action)을 필요로 하는 기존 예측 기반 시스템과는 달리, 프리-액션을 요구하지 않기 때문에 좀 더 사실감 있게 느낄 수 있도록 한다.

현재, 이 알고리즘을 분산 협동 환경을 시뮬레이션 한 시스템에 구현하여 검증하였고, 대규모 분산 협동 환경을 위한 네트워크 구조인 ATLAS[5]의 일부로 구현하고 있다.

참고문헌

- [1] Dourish, P. Consistency Guarantees: Exploiting Application Semantics for Consistency Management in a Collaboration Toolkit. ACM CSCW, 1996.
- [2] Greenberg, S. and Marwood, D. Real Time Groupware as a Distributed System: Concurrency Control and its Effect on the Interface. ACM CSCW, 1994.
- [3] Hagsand, O. Interactive Multiuser VEs in the DIVE System. IEEE multimedia, 1996.
- [4] Lea, R., Honda, Y., Matsuda, K., Hagsand, O., Stenius, M. Issues in the design in a scalable shared virtual environment for the Internet, HICS, 1997.
- [5] Lee, D. et al. ATLAS: Scalable network framework for large distributed virtual environments, Project Report, August, 1999.
- [6] Macedonia, M.R., and Zyda, M.J. Taxonomy for Networked Virtual Environments. IEEE multimedia, 1997.
- [7] Roberts, D.J, and Sharkey, P.M. Maximising Concurrency and Scalability in a Consistent, Causal, Distributed Virtual Reality System, Whilst Minimising the Effect of Network Delays. IEEE Workshop on Enabling Technology: Infrastructure for Collaborative Enterprise, 1997.
- [8] Snowdon, D., Greenhalgh, C., Benford, S., Bullock, A., and Brown, C. A Review of Distributed Architectures for Networked Virtual Reality. IEEE VRAIS, 1996.
- [9] Sung, U., Yang, J. Wahn, K. Concurrency Control in CIAO. IEEE Computer Society, 1999.
- [10] Waters, R.C., Anderson, D.B., and Derek L. Schwenke. Design of the Interactive Sharing Transfer Protocol. IEEE WETICE, 1997.