

예측하기 힘든 광범위 지역 장애에 대응하기 위한 안정적인 오버레이 메시지 전송

김경백
전자컴퓨터공학부, 전남대학교
e-mail : kyungbaekkim@jnu.ac.kr

Reliable Overlay Message Dissemination under Unexpected Large Scale Geo-Correlated Failure

Kyungbaek Kim
Dept. of Electronics and Computer Engineering,
Chonnam National University

요 약

오늘날 유저들의 단말들의 (데스크탑 PC, 노트북, 스마트폰 등) 성능이, 계산처리능력 그리고 네트워킹능력 두 부분에서 혁신적으로 향상되었다. 이에 따라 다양한 타입의 데이터 전송 네트워크를 위해, 유저에게 친숙하고, 확장성이 강한 오버레이 네트워크의 사용이 급격히 증가하고 있다. 이러한 오버레이 네트워크 기반의 데이터 전송 네트워크는 유저들의 예기치 못한 Failure에 대응하기 위한 다양한 기술들을 적용하고 있다. 이 기술들에서는 일반적으로 Random Failure에 대해서만 주로 고려를 하고 있다. 하지만, 현실에서는 Geo-Correlated Failure가 발생할 수 있다. 모바일 사용자들의 급증에 따른 사용자들과 지역간의 관계에 따른 Failure, 지진이나 폭우와 같은 재난상황에서의 Failure, 또는 전략적으로 네트워크를 마비시키기 위한 공격(e.g. EMP)에 의한 Failure들을 Geo-Correlated Failure로 분류된다. 특히, 데이터 네트워크가 재난경보네트워크, 전략작전 전달네트워크 등, Mission(or Time) Critical한 목적으로 사용될 경우 이와같은 Geo-Correlated Failure의 영향이 더욱 심각해진다. 이 논문에서는 이러한 예기치 못한 Geo-Correlated Failure상에서 보다 효과적 그리고 안정적으로 정보를 전송할 수 있는 오버레이 네트워크의 구성과 그 전송에 대한 새로운 방법을 논의한다. Inet기반의 가상 Infrastructure에서 Geo-Correlated failure를 emulation함으로써, 논문에서 제시하는 오버레이 네트워크를 사용함으로써 25%의 Geo-Correlated failure상에서 시스템 reliability를 최대 30%까지 높일 수 있음을 검증 하였다.

1. 서 론

오늘날 유저들의 단말들의 (데스크탑 PC, 노트북, 스마트폰 등) 성능이, 계산처리능력 그리고 네트워킹능력 두 부분에서 혁신적으로 향상되었다. 특히 휴대가 편리한 스마트 디바이스(Iphone, Galaxy Phone)와 Netbook / Notebook의 의 성능이 급격히 향상되고 있다. 수년전에는 상상할 수 없을 정도로 다양하고 복잡한 응용프로그램들을 스마트 디바이스나, 노트북에서 수행할 수 있게 되었다. 뿐만 아니라, 통신 채널의 성능에 있어서도 획기적인 발전이 있어왔고, 보다 다양한 타입의 전송채널이 등장하게 되었다. 예를 들어, 스마트 디바이스 유저는 WiPi뿐만 아니라 3G네트워크를 통해서 정보를 주고 받게 된다.

이에 따라 다양한 타입의 데이터 전송 네트워크를 사용하는 유저에게 친숙하고, 확장성이 강한 오버레이 네트워크의 사용이 급격히 증가하고 있다[1,2,3,4]. 이러한 오버레이 네트워크는 메세징[4], 음성통신, 데이터 전송 (content distribution)[3], 멀티미디어 전송 (streaming service)[1]와 같은 다양한 분야에 적용되고 있다. 오버레이 네트워크 기반의 서비스들은 중앙 집중형 서비스와는 달리 서비스를 받는 사용자들의 컴퓨팅 또는 스토리지 리소스를 사용함

으로써, 중앙 집중형 서비스에서 발생하게 될 예기치 못한 급작스러운 리소스 요청에도 효과적으로 대응하게 되고, single point of failure의 문제를 해소시킬 수 있다.

하지만, 이러한 오버레이 네트워크의 장점에도 불구하고, 유저들이 제공하게 되는 리소스의 availability가 중앙 서버와 같은 아주 안정적인 서버의 availability보다 상대적으로 아주 적은 값을 가지는 문제가 발생하게 된다. 즉 시스템의 reliability에 문제가 생길 여지가 생기는 것이다. 따라서, 오버레이 네트워크 기반의 데이터 전송 또는 메세징 네트워크에 대한 연구들에서는 유저들의 예기치 못한 Failure에 따른 낮은 리소스 availability를 사용하면서도 높은 서비스/시스템 reliability를 지원하기 위한 방법들에 초점을 맞추고 있다.[1,2,3]

이러한 연구들의 주된 고려점은 사용자측의 resource의 낮은 availability의 주된 원인인 유저의 failure를 Random Failure model로 생각하고, 이에 따른 대응책을 내놓는 게 일반적이었다. 그러나, 최근 스마트 디바이스와 미디어의 발달로 사용자들은 장소정보와 밀접한 관계를 가지게 된다. 즉 모바일 디바이스들이 오버레이네트워크에 참여하게 된다면, 사용자들의 리소스가 장소정보에 밀접한 관련

이 있게 되고, 이에 따라 사용자들의 failure가 지리적으로 밀접한 관계를 가지는 failure로 생각될 수 있게 된다. 사용자들의 패턴에 따라, 오전에는 도심의 비즈니스 지역 또는 학교 캠퍼스에 사람들이 많이 몰리며 이지역의 리소스가 충분해지는 반면, 밤에는 사람들의 패턴에 따라 이러한 비즈니스 지역 또는 학교 캠퍼스 지역의 리소스들이 급격히 부족하게 된다. 이와 같은 상황에서는 특정 지역에 대한 geo-correlated failure가 발생했다고 말할 수 있다.[5,6]

이러한 geo-correlated failure는 특히 재난경보시스템이나 전략정보전달 시스템과 같은 전달시간의 제한이 확실하게 있는 Mission Critical한 시스템에서 보다 그 영향이 심각하게 된다.[6] 예를 들면, 지진이나 폭우와 같은 재난 상황에서는 그 지역 부근의 사용자들 또는 그 지역에 관심 있는 사람들에게 경보나 대처정보를 전달해주어야 한다. 하지만, 이러한 재난 상황에서는 그 지역의 통신 기간 시설이 테미지를 입으면서 통신 네트워크가 마비될 가능성이 높아진다. 뿐만 아니라, 전략적으로 EMP를 사용하여 특정지역을 공격할 경우[5] 그곳에서의 통신이 마비되게 된다. 이와 같은 다양한 형태의 Geo-correlated failure가 생길 경우 이 failure와 관련된 지역의 사용자들도 모두 서비스를 받지도 또는 제공하지도 못하게 된다. 물론 이와 같은 기간시설의 장애에 따른 backup 통신채널이 가동될 수도 있지만, 이와 같은 failure복구는 Time-consumption한 특성을 가지게 되므로, Mission Critical한 시스템에서는 그 사용이 힘들게 된다.

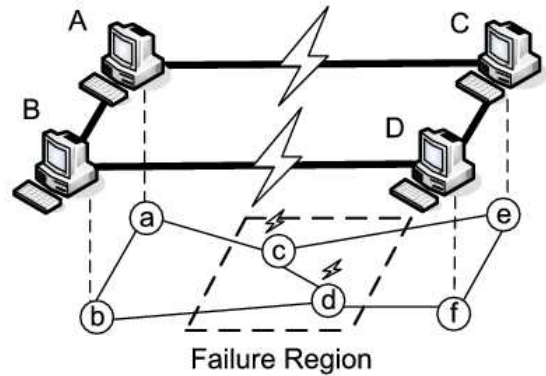
이 논문에서는 이러한 예기치 못한 Geo-Correlated Failure상에서 보다 효과적 그리고 안정적으로 정보를 전송할 수 있는 오버레이 네트워크의 구성과 그 전송에 대한 새로운 방법을 제시한다. 이를 위해 우리는 크게 두 가지 method를 고려해야 한다. 첫 번째는 오버레이 네트워크를 구성하는데 있어서 예기치 못한 Geo-correlated failure의 영향을 최소화하기 Neighbor Selection이다. 두 번째는 이렇게 구성된 네트워크에서 예기치 못한 광범위 Geo-correlated failure발생 직후의 남아있는 리소스들을 가지고 보다 효과적인 데이터 전송을 하기 위한 Multidirectional Multicasting이다.

이후의 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 근접도-인지 Neighbor Selection에 대해서 소개하고, 3장에서는 Multidirectional Multicasting에 대해 설명한다. 4장은 우리가 새로 제시하는 오버레이 네트워크를 가상의 네트워크상에서 구성하고, Geo-correlated failure를 발생시킴으로써, 우리의 새로운 오버레이 네트워크를 사용함으로써 얻을 수 있는 시스템/서비스의 reliability의 향상 정도를 측정한다. 마지막으로 5장에서 이 논문의 결론을 말한다.

2. 근접도-인지 Neighbor Selection

오버레이 네트워크에 존재하는 노드들은 오버레이 노드라고 정의한다. 오버레이 노드들은 일반적으로 Random Failure Model에 따라서 failure를 발생 시킨다고 가정 할

수 있다. 이러한 가정이 가능하기 위해서는 오버레이 네트워크와 하부 네트워크와의 연결에 있어서 연관성이 없다는 가정이 필수적이다. 하지만 Geo-Correlated Failure를 고려하게 될 경우, 오버레이 네트워크의 Failure는 하부 인프라스트럭처의 Failure에 영향을 받게 된다. 즉 그림 1에서와 같이 지리적 연관성을 가진 인프라의 라우터들이 동시에 Failure를 발생시키게 되면, 오버레이 링크 AC와 BD에 동시에 영향을 미치게 된다.



(그림 1) Geo-Correlated Failure와 오버레이 링크 Failure. (a,b,c,d : 인프라 라우터, A,B,C,D : 오버레이 노드)

따라서, 이와 같은 하부 인프라의 동시다발적인 Failure를 유발 할 수 있는 Geo-Correlated Failure상에서 보다 안정적으로 메시지를 전달하기 위한 네트워크를 구성하기 위해, 오버레이 링크, 즉 오버레이 네이버를 오버레이 링크들간의 지리적인 근접도에 따라서 선정한다. 오버레이 링크들간의 근접도는, 두 오버레이 링크와 관련된 하부 인프라의 경로들간의 근접도로 정의다. 그림 1에서 오버레이 링크 A->C와 B->D의 근접도는 하부인프라 링크 a->c->e (A->C의 하부링크)와 b->d->f (B->D의 하부링크)의 근접도를 계산하여 사용한다. 근접도를 계산할 때는, 두 링크의 각 노드들을 인자로 하여 만들 수 있는 모든 노드 페어에 있어서 지리적 거리가 일정 Threshold값보다 작아지게 되면 그 근접도 값을 1씩 증가시킨다. 이와 같이 계산되는 오버레이 링크간의 근접도를 확인하여, 보다 작은 근접도 값을 가지는 오버레이 네이버를 선택함으로써 오버레이 네트워크를 구성한다.

이와 같은 근접도 인지 Neighbor Selection방식을 사용하여 구성된 오버레이 네트워크는 임의의 Geo-Correlated Failure가 발생하더라도 한 노드의 모든 네이버가 동시에 이 Failure에 영향을 받을 확률을 보다 줄일 수 있다.

3. Multidirectional Multicasting

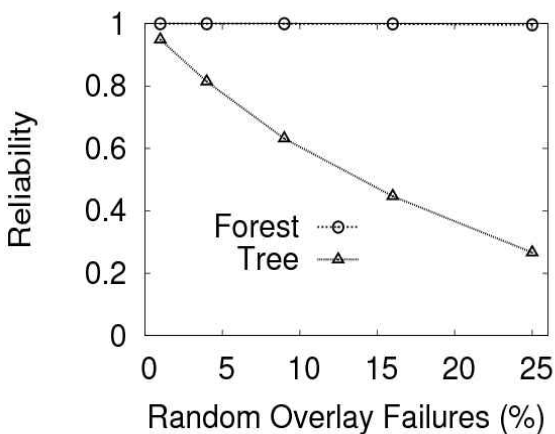
최근 재해예방 정보 시스템과 같은 Mission Critical한 데이터 전송 시스템에서 Reliability를 높이기 위해서 Tree 기반의 오버레이 네트워크보다는 Forest 기반의 오버레이 네트워크를 주로 사용하게 된다. 모든 오버레이 노드가 Single point of failure인, 즉 한 노드가 failure하게 되면

그 하부 네트워크는 데이터를 받지 못하는 Tree 네트워크와는 달리, Forest기반의 오버레이 네트워크에서는 다수의 Tree 네트워크를 사용함으로써 네트워크의 메시지 전송에 있어서의 Reliability를 높이게 된다.

이러한 Forest기반의 오버레이 네트워크의 특성을 극대화하기 위해서 Multidirectional Multicasting을 사용한다. 보편적인 Multicasting방식은 Tree네트워크를 생각할 때, Root에서 Leaf로 진행되는 Top-down방향으로의 멀티캐스팅을 지칭하고, 이를 우리는 Traditional 멀티캐스팅이라고 부른다. 반면, Multidirectional 멀티캐스팅 방식은 기존의 Top-Down방향의 멀티캐스팅을 기본으로 하고, 오버레이 노드 또는 링크의 Failure를 예측하여, 다방향, 즉 Down-Top방향 또는 Side-to-Side방향으로의 멀티캐스팅을 시작하게 된다. 오버레이 노드/링크의 Failure의 예측과 다방향 멀티캐스팅의 시작을 위해 필요한 시간은 200~300 msec정도이다. 이는 기존의 TCP timeout를 사용하는 일반적인 방식에 비해 100배정도 짧은 시간이다.

4. 실험 및 검증

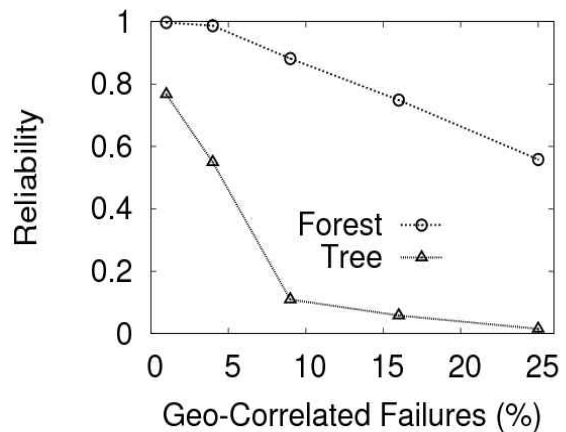
Mission-Critical한 오버레이 네트워크를 구성하는데 있어서 근접도-인지 Neighbor selection과 Multidirectional Multicasting의 효용성을 확인하기 위해, Inet을 기반으로 해서 가공한 Internet Topology상에서 오버레이 네트워크를 구성하고 Geo-Correlated Failure를 발생시키며 구성된 오버레이 네트워크의 메시지 전송 Reliability를 측정하였다. Mission-Critical한 메세징을 고려하는 시스템의 특성상 Reliability는 오버레이 네트워크에서 메시지 전송이 시작되는 시점에서 20초 내에 도착한 메시지들만을 고려하여 계산하였다. 즉 이 결과에서 Reliability는 (메세지를 받은 오버레이 노드의 수)/(Failure가 발생하지 않은 오버레이 노드) 로 정의된다. 근접도를 계산하기 위해서, Inet에서 제공하는 위치정보를 하부 라우터에 적용하고 그 거리를 측정하였다.



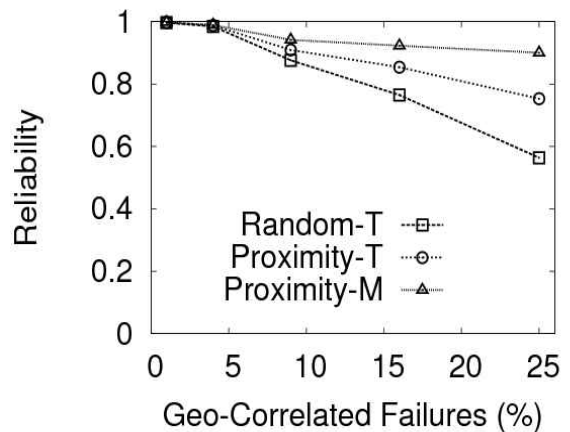
(그림 2) Random Overlay Failure에 따른 메세징 Reliability

Geo-Correlated Failure의 심각한 영향을 파악하기 위해

우선 같은 정도의 Random Failure와 Geo-Correlated Failure상에서 오버레이 네트워크의 Reliability를 측정하였다. 그림 2에서는 Random Failure의 영향을 나타내고 있다. Tree기반의 오버레이 네트워크는 Failure의 정도가 커질수록 심각한 영향을 받는 반면, Forest기반의 오버레이 네트워크는 Random Failure가 전체 시스템의 25%에 육박하더라도 거의 100%의 Reliability를 유지하였다. 반면, 그림 3에서와 같이 Geo-Correlated Failure를 고려할 경우 Tree기반의 오버레이 네트워크는 말할 것도 없고, Forest기반의 오버레이 네트워크도 Reliability에 있어서 심각한 영향을 받는 것으로 확인 되었다. 즉, 일반적인 Neighbor Selection방식을 사용한 Forest기반의 오버레이 네트워크는 Geo-Correlated Failure에 대응하기 힘들다는 것이다.



(그림 3) Geo-Correlated Failure에 따른 메세징 Reliability



(그림 4) Geo-Correlated Failure상에서 근접도-인지 neighbor selection 방식과 Multidirectional Multicasting을 사용할 때, 오버레이 네트워크의 메세징의 Reliability

근접도-인지 Neighbor Selection과 다방향 멀티캐스팅을 적용할 때, 오버레이 네트워크의 Reliability에 있어서의 성능향상을 확인하기 위해 그림 4와 같이 근접도-인지 Neighbor Selection과 보편적 멀티캐스팅을 사용한 경우 (Proximity-T)와 다방향 멀티캐스팅까지 모두 사용한 경우 (Proximity-M)를 비교하였다. 근접도-인지 Neighbor

Selection을 사용하면, 단순히 Random하게 Neighbor를 선택하는 경우(Random-T)에 비해서 최대 30%까지 그 성능이 향상됨을 확인하였다. 또한 근접도-Neighbor Selection과 다방향 멀티캐스팅 모두 사용한 경우에는 Random-T에 비해서 최대 50%의 성능향상을 확인하였다. 즉 임의의 Geo-Correlated Failure가 전체인프라의 25%에 동시에 영향을 주는 경우, Random-T가 60%의 Reliability를 달성하는 반면, Proximity-T는 78%, Proximity-M은 90%의 Reliability를 유지함을 확인하였다.

4. 결론

오늘날 모바일 디바이스의 성능향상과 다양한 통신채널의 발달로 오버레이 네트워크가 활발히 사용되고 있고, 오버레이 네트워크상의 노드들의 지리적 정보가 점점 중요해지고 있다. 이러한 상황에서 재해(자연재해 또는 인재)에 의한 Geo-Correlated Failure는 일반적인 Random Failure에 잘 대응할 수 있는 오버레이 네트워크에도 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향을 줄이기 위해 근접도-인지 Neighbor Selection과 다방향 멀티캐스팅방식을 오버레이 네트워크에 적용할 수 있다. 두 방식들이 적용된 오버레이 네트워크는 특히 재해예방 정보시스템 또는 전략전술 전달 시스템과 같이 Mission-Critical한 데이터 전송 시스템에서 보다 효과적으로 사용될 수 있다.

Wireless 인프라스트럭처의 특성들을 고려한 Failure의 영향에 대한 연구, 그리고 Forest외의 보다 효과적인 구조를 지원하기 위한 보다 효과적이고 효율적인 오버레이 네트워크 구성방식과 전송방식에 대한 연구 등이 일련의 향후 연구로 고려된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Banerjee, B. Bhattacharjee, C. Kommareddy, "Scalable Application Layer Multicast", in Proc. of SIGCOMM 2002.
- [2] Tetsuya Kusumoto, Yohei Kunichika, Jiro Katto, Sakae Okubo, "Tree-Based Application Layer Multicast using Proactive Route Maintenance and its Implementation", In Proc. of P2PMMS 2005.
- [3] M. Deshpande, B. Xing, I. Lazardis, B. Hore, N. Venkatasubramanian, S. Mehrotra, "CREW: A Gossip-based Flash-Dissemination System", In Proc. of ICDCS 2006
- [4] Kyungbaek Kim, Sharad Mehrotra, Nalini Venkatasubramanian, "FaReCast: Fast, Reliable Application Layer Multicast for Flash Dissemination", In Proc. of ACM/IFIP/USENIX Middleware Conference 2010, Bangalore, India.
- [5] S. Neumayer, G. Zussman, R. Cohen, E. Modiano,

"Assessing the Impact of Geographically Correlated Network Failures", In Proc. of MILCOM, 2008

[6] Kyungbaek Kim, Nalini Venkatasubramanian, "Assessing the impact of geographically correlated failures on overlay-based data dissemination", In Proceedings of IEEE Globecom 2010, Miami, Florida, USA.

[7] Inet ; <http://topology.eecs.umich.edu/inet/>.
