



## P2P 시스템과 서비스 가용성 품질

운기원<sup>1)</sup>

### 목 차

1. 서 론
2. 가용성 품질
3. 가용성 품질 향상을 위한 복제
4. 시뮬레이션 및 평가
5. 결 론

### - 요약 -

최근 들어 서비스 가용도(Availability) 만족에 대한 중요성이 인터넷 기반 서비스 및 응용들의 성패에 가장 결정적인 요소 중의 하나로서 인식되고 있다. 이에 따라, 본 기고에서는 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 기존의 성능 향상 관점에서 보다는 가용도 증대의 관점에서 다뤄 보고자 한다. 먼저 가용성 품질(Quality of Availability: QoA)이라는 새로운 개념을 소개하고, 가용도를 QoS의 새로운 평가 척도로써 제어 및 관측 가능한 QoS 파라미터로 정의하는 한편, 인터넷 기반 광역 분산 시스템의 특성에 맞는 가용성 정의를 정립해 본다. 특히 Peer-to-Peer (P2P) 시스템 등과 같이 시스템과 사용자 접속의 동적 변화가 잦은 시스템을 대상으로, 복제 (Replication) 기술을 이용한 서비스 가용성 품질 향상 문제를 집중적으로 다뤄본다. 이를 위하여 P2P시스템과 복제기반 분산 서비스를 Stochastic 그래프로 모델링해 보고, 시뮬레이션 공부를 통하여 여러 가지 복제정책(알고리즘)을 대상으로 서비스 가용성 품질 향상정도를 품질 만족과 보장이라는 차원에서 각각 조사해 본다.

### 1. 서 론

인터넷 기반 분산 서비스 및 어플리케이션의 급성장은 자원 관리 및 서비스 차별화 제공에 필요한 기술에 대한 연구 개발을 촉진시켰고, 이는 서비스 품질(QoS)이라는 새로운 개념과 아키텍처 그리고 메카니즘 개발의 원동력이 되었다. QoS 관련 연구의 기본 목표는 서비스 품질 향상으로서, QoS 연구의 주요 초점은 효과적인 자원 관리와 서비스 차별화, 그리고 성능 최적화 이슈들을 다루는 데에 있다[1,2].

그러나, 지난 25년이래 지금까지 성공적으로 평가되고 있는 QoS 관련 연구 성과 및 기술 개선/해결책들과는 달리, 이러한 연구결과들을 상용 제품이나 상용 시스템에 이용한 경우에 대한 성공 사례는 거의 없는 실정이다. 이의 주된 원인으로서는 QoS 연구의 핵심이 대역폭, 지연, 데이터 손실 등과 같은 전송 특성들의 제어에 국한되어 있었던 점 등을 들 수 있다[2,3]. 물론 여기에는 주문형 비디오, 인터넷 전화, 원격 화상회의 등과 같이 QoS 연구에 강한 영향을 미친 대부분의 네트워크 기반 어플리케이션들이 '실시간 데이터 전송'이라는 특성을 대부분 QoS 관련 연구의 주요 요소 사항으로 둔 점도 무시할 수 있는 사실이다. 그러나, 실제로 서비스를 이용하는 고객이 실감하는

1) 독일 Technische Universitaet Darmstadt 전자/컴퓨터공학과 연구원

서비스 품질에 대한 만족은 단지 '조금 더' 향상된 성능이나 또는 고품질로 포장된 서비스가 제공될 때보다, 이러한 서비스가 고객이 원하는 시간에 원하는 수준의 품질로서 그 정도가 명확히 보장될 수 있을 때이다. 따라서, 본 기고에서는 서비스 품질을 기존의 성능 향상 관점에서 보다는 가용도 증대의 관점에서 다뤄 보고자 한다. 이에 필요한 기본 개념으로서, 가용성 품질(QoA)이라는 새로운 개념을 소개하고, 가용도를 QoS의 새로운 평가척도로서 제어 및 관측 가능한 QoS 파라미터로 정의하는 한편, 인터넷 기반 광역 분산 시스템의 특성에 맞는 가용성 정의를 상세하게 정립해 본다. 특히 P2P 시스템 등과 같이 시스템과 사용자 접속의 동적 변화가 잦은 시스템을 대상으로, 복제 기술을 이용한 서비스 가용성 품질 향상 문제를 집중적으로 다뤄 본다.

이를 위하여 P2P시스템을 Stochastic 그래프로 모델링한다. 즉, 시스템 구성요소들(노드 및 연결 링크)에 결함/오류 발생확률, 가용성 품질 요구값 등을 서로 독립적인 값으로서 부여한다. 다음은 시스템 전반에 걸쳐, 모든 노드들이 서비스나 데이터 접근 시에 요구하는 가용성 품질 레벨의 만족 정도를 최대화(경우에 따라서는 만족을 보장)할 수 있는 복제 배치와 갯수 등을 결정하는 문제를 시뮬레이션 모델을 통하여 풀어본다. 시뮬레이션 결과를 통하여 알 수 있듯이, 복제의 배치는 복제의 개수 이상으로 가용성 품질에 많은 영향을 미친다. 한편 P2P시스템의 경우, Peer간에 상호 협력을 통한 복제 배치 결정은, 노드의 지역 저장소만을 이용하는 경우보다, 전체 P2P 시스템의 서비스 가용성 품질을 좀 더 효과적으로 높일 수 있음을 제시한다.

## 2. 가용성 품질

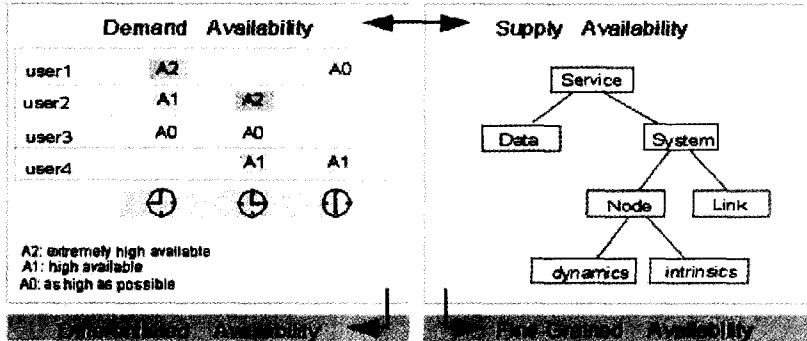
### 2.1 가용성에 관한 정의 세분화

가용성 품질의 개념을 소개하기 전에, 먼저 현재 분산 시스템에서 널리 사용되고 있는 용성에 대한 정의를 재정리해 보자. 가용성에 대한 기존의 정의들은 대체로 기반 시스템의 안정도, 오류 탐지 및 복구 기능 제공 여부, 또는 각각의 시스템 요소별 잉여분(Redundancy) 존재 여부 등을 기반으로 만들어졌다[4]. 따라서, 기존의 분산 시스템에서 서비스의 가용성이란 전체 서비스 제공 시간 중에서 서비스가 순수하게 가용한 시간에 대한 비율로 정의되었다.

그러나, 이는 각 시스템 요소별 가용도를 상세하게 명시하지 못할 뿐더러, 요구된 데이터가 시스템으로 부터 접근/도달 가능한 지 등 좀 더 세분화된 형태의 가용도를 명시하지 못한다. 특히, 각각의 시스템 구성 요소들이 서로 다른 레벨의 오류값을 가지는 경우에 이를 세분화해서 명시할 방법이 없다. 예를 들어, 99.99%의 가용도가 제공된다고 봤을때, 나머지 0.01%값이 시스템 노드 오류의 원인 탓인 지 또는 디스크 접근 오류 탓인 지 알 수 없다. 더우기, 기존의 가용도 값은 클러스터형 시스템이나 밀결합된 시스템의 가용도를 명시하기 위하여 주로 이용되었기 때문에, 광역 분산 시스템에 적용해서 통신 노드간 결함이나 오류 여부등을 고려하기에 부적합하다. 결과적으로, 광역 분산 시스템의 특성과 구성 요소별 결함 여부 등을 모두 고려하기 위해서는 가용도의 기존 정의에 대한 세분화 작업이 필요하다. 따라서, 우리는 가용도 정의를 다음의 세가지 방향 - 세분화, 분리화, 그리고 차별화 - 으로 확장해서 좀 더 상세하게 정의해 본다.

#### 2.1.1 가용도의 세분화(Fine-Grained Availability)

광역 분산 시스템의 각 구성 요소별 결함/오류 정도를 모두 반영하고, 또한 시스템으로부터 도달된 가용도를 정량적으로 측정하기 위해서는, (그림 1)의 오른쪽에서와 같이 가용도 정의를 세분화



(그림 1) 광역 분산시스템을 위한 가용도 상세 정의

시킬 필요가 있다.

- 서비스가 가용하기 위해서는 서비스에 필요하거나 또는 서비스가 제공하는 모든 데이터가 가용하고, 서비스가 수행되는 기반 시스템이 가용해야 한다.
- 데이터가 가용하기 위해서는 해당 데이터가 접근 요청 순간에 도달 가능해야 한다.
- 시스템이 가용하기 위해서는 해당 시스템의 모든 구성 요소들, 즉 노드 및 노드간 통신망과 이들의 구성 요소들이 가용해야 한다.

### 2.1.2 가용도의 분리화(Decoupled Availability)

고객이나 어플리케이션이 요구한 가용도 레벨의 만족 여부를 체크하기 위해서는 요구된 가용도 레벨을 시스템으로부터 제공된 가용도 레벨로 부터 분리할 필요가 있다. 이는 가용도 QoS를 다루는 입장에서 고가용성 즉, 가용도를 최대화시키는 것 뿐만 아니라, 가용도 만족의 보장까지도 목표 및 평가의 기준으로 취할 수 있다. 따라서, 사용자는 요구사항 명시과정에서 성능에 관한 파라미터 값은 물론, 가용성에 대한 레벨 값을 지정할 수 있고, 기반 서비스 시스템은 단지 성능 및 가용성 증대 차원이 아닌 만족 및 보장의 차원에서 자원과 비용을 제어할 수 있다.

### 2.1.3 가용도의 차별화(Differentiated Availability)

대체로 인터넷 기반 광역 서비스/어플리케이션 시스템들은 흔히 여러 종류의 서비스를 다양한 형태로 동시에 제공할 수 있어야 한다. 이러한 환경에서 모든 어플리케이션 (또는 고객)들은 각각 다른 레벨의 QoS와 가용도 값을 요구하기 마련이다. 즉 모든 어플리케이션들이 일률적으로 최고품질의 QoS와 99.999%의 고가용도를 요구하는 게 아니라, 자신의 고객 환경 및 단말기 환경, 또는 비용 지출의 허용범위에 알맞는 서비스 레벨을 요구하게 된다. 이러한 현상은 하나의 동일한 어플리케이션 안에서라도 찾아볼 수 있다. 예를 들어, 어플리케이션을 이용하는 고객들의 관점에서 서비스를 이용하는 시간대나 다운로드 받고자하는 데이터의 용도에 따라 그에 따른 가용도의 상대적인 중요도를 달리 하게 된다. 이처럼 가용도 차별화 지원을 필요로 하는 것들을 간략히 정리해 보면 다음과 같다.

- 고객들은 각자의 환경 및 비용제한에 알맞는 가용도 레벨을 요구한다.
- 상이한 서비스 및 콘텐츠들은 서로 다른 레벨의 중요도 우선 순위를 갖고 있다.
- 가용도 레벨은 서비스 및 콘텐츠 접속 시간대에 따라서도 영향을 받는다.

### 2.2 가용성 품질 : 개념 및 평가 요소(Metrics)

가용성 품질 개념의 기본 아이디어는 가용도를

제어 가능하고 정량적인 측정이 가능한 QoS의 새로운 파라미터로 취급하자는 데 있다. 이는 또한 QoS기반 서비스의 특징이 그렇듯이, 가용도를 여러 개의 차별된 레벨에서 요구하고 제공하는 것이 가능하도록 하고, 단순히 가용도를 증대하는 차원 (best-effort availability QoS)에서 벗어나 요구된 가용도 만족을 결정적으로 보장(guaranteed availability QoS)할 수 있는 대상으로 다루는 것이다. 이는 광역 분산 시스템의 자원 관리 차원에서도 차별화된 서비스 품질에 각각 부합하는 자원 할당과 품질 보장을 절대적으로 요구하는 몇몇 어플리케이션을 대상으로 집중적인 자원 활용을 할 수 있게 된다. 또한, 서비스 및 데이터 복제 과정에서 성능향상 뿐만 아니라, 가용성 품질 향상 및 보장을 목표로 복제 대상별 개수 및 배치를 차별화 시켜서 결정하고 제어할 수 있게 한다.

한편, 시스템으로부터(본 기고의 경우, 특히 복제 알고리즘들로부터) 도달된 가용도를 서로 비교하고 정량적으로 평가하기 위해서, 다음과 같은 가용도 QoS 파라미터를 정의하고 이용한다 (상세 내용 참조: [5,6]).

### 2.2.1 가용도 만족정도(satisfied Availability QoS)

임의의 한 시스템 노드에 대하여 요구한 가용도 값에 대한 도달된 가용도 값의 정도를 나타낸다. 예를 들어, 요구값이 95%이고, 도달된 값이 94%이면, 가용도 만족정도는 0.99이다. 유사 파라미터로서, 전체 노드를 대상으로 최소/최고/평균 만족정도 등을 고려할 수 있다.

### 2.2.2 가용도 보장정도(guaranteed Availability QoS)

임의의 한 시스템 노드에 대하여 요구한 가용도 값이 충족됐는지의 여부(1 또는 0)를 나타낸다. 예를 들어, 요구값이 95%이고, 도달된 값이 94%이면, 가용도 보장정도는 0이다.

## 3. 가용성 품질 향상을 위한 복제

### 3.1 복제 : 모델 및 이슈

분산 시스템에서 복제란 원본 서비스 및 데이터를 원래의(서버) 시스템으로부터 네트워크로 연결된 다른 시스템에 복사함으로써, 복사 대상물의 잉여도를 높이고, 결국 시스템 구성요소의 결함이나 오류로부터 대상 서비스의 가용도를 높이는 기술로서, 가용도 증대를 위하여 그동안 폭넓게 적용되어 왔다.

복제 모델로는 복제 대상의 폭에 따라 크게 완전 복제와 부분 복제로 구분할 수 있다. 완전 복제는 원래 시스템 전체(복제 대상에 따라, 전체 서비스 또는 전체 데이터가 될 수 있음)를 다른 시스템에 복제하는 것으로서, 웹 서비스의 미러서버(Mirrored Server)가 좋은 예이다. 반면에, 부분 복제는 대상 서비스나 데이터의 일부분을 네트워크로 연결된 일부의 서비스 시스템(예: Proxy Servers)이나 또는 전체 시스템(예: Content Delivery Networks)에 복제하는 경우이다. 한편, 복제 모델을 복제 시기와 관련하여 구분할 경우, 정적 복제와 동적 복제, 또는 각각 사전형(Proactive)복제와 주문형(On-demand)복제로 구별할 수 있다. 정적 복제의 경우 복제의 생성 및 배치(Placement)가 서비스 개시 이전에 발생하는 반면, 동적 복제에서는 서비스 도중에도 해당 서비스 및 관련 데이터의 인기도 및 중요도 변화에 따라서, 복제의 개수와 배치 등을 변경시킬 수 있다. 물론, 동적 복제의 경우 이로 인한 가용도 증대폭이 정적인 경우보다 높을 수 있지만 이에 따른 비용 부담 및 복제 시스템 자체의 복잡도는 대체로 큰 편이다.

복제와 관련된 중요한 이슈로는 (1)무엇을 복제하고 얼마나 많은 양을 복제할 것인가, (2)복제를 언제 생성하고 어느 시스템(노드)에 놓을 것인가, 그리고 (3)복제간의 업데이트는 어떻게 제어하고

교환할 것인가 등을 들 수 있다. 본 기고에서는 특히 복제 선정 및 배치 문제를 다뤄보고, 복제의 개수 및 배치가 가용성의 만족 정도에 미치는 영향을 조사해 보고자 한다.

본 기고의 초점은, 주어진 분산 시스템과 가용도 요구값에 대하여, 시스템의 모든 구성 요소별 가용 정도 및 결합 발생 여부를 구체적으로 반영하면서, 동시에 모든 노드(고객)들의 개별 가용성 품질 요구 레벨을 만족 시키는, 복제 개수와 배치를 결정하는 것이다. 복제 개수 결정 및 배치 선정의 기준에 따라 (1)가용도 만족정도의 최대화 (도달 비용의 최적화) 문제와 (2)가용도 보장 문제로 각각 구분해서 다뤄 본다.

### 3.2 P2P 시스템 모델

복제 문제를 구체적으로 다루기 위해서는 복제 기술이 이용되는 시스템의 특성이 정확히 파악되어야 한다. 본 고에서는 광역 분산 시스템의 예로 KaZaA[7], Gnutella[8] 등과 같은 P2P 화일 공유 시스템을 들어보고, 이러한 P2P시스템의 공통적인 특징들로서 특히 다음과 같은 사항을 고려해 본다.

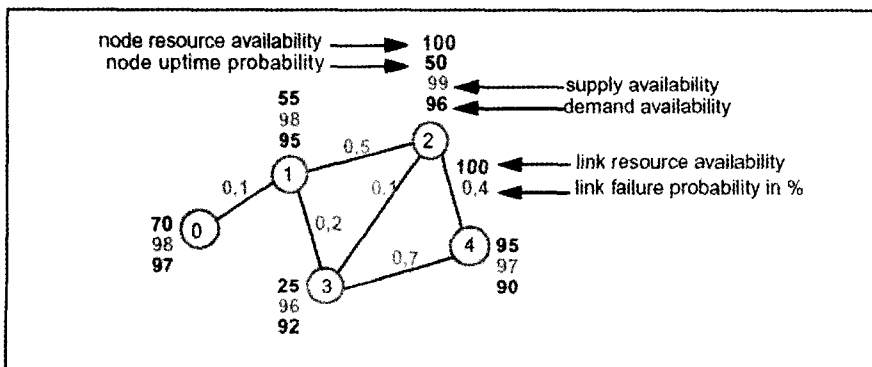
- Peer들은 서로 독립적으로 '업' (up: 도달 가능) 또는 '다운' (down: 도달 불가능) 상태가 된다.

- Peer들은 서비스나 데이터를 제공하고 요구하는 관점에서 그 역할이 대칭적이라 할 수 있다. 즉, 서버나 또는 항상 클라이언트로서 역할이 고정된 Peer는 없다.

- Peer들은 각각 서로 상이할 수 있는 레벨의 서비스 가용도를 요구하거나 제공한다. 물론, Peer가 해당 P2P 서비스(소프트웨어)를 가동 중인지, 서비스 기간 중 충분한 량의 자원(저장 및 접근 대역폭 등)을 보유하고 공급할 수 있는지 등은 그 Peer가 제공할 수 있는 전체 서비스 가용도에 커다란 영향을 미친다.

- Peer들이 서비스 접근시점에 요구하는 서비스 가용도 레벨은Peer들 간에 다를 수 있다. 어떤 Peer의 경우는 지극히 고가용의 접근을 기대하는 반면, 다른 Peer들은 적당한 정도, 소위 'best-effort' 한 정도의 가용도 QoS만 제공되어도 만족할 수 있다.

한편, P2P시스템과 같은 분산 시스템은 Stochastic 그래프 모델로써 나타낼 수 있다. 이 경우 각 Peer들은 그래프의 노드가 되고 Peer들 간의 연결선은 노드간 연결 링크가 되며, 이들 노드 및 링크들은 서로 독립적인 결합발생 확률값을 가진다고 볼 수 있다. 이 밖에도 노드들은 서비스 및 데이터 접근 요구 발생시에 이에 따른 가용도 QoS값을 부여 받는다. (그림 2)는 하나의



(그림 2) Stochastic그래프 모델로 나타낸 P2P시스템 : 수치는 예제값임

Stochastic 그래프 모델을 보여준다.

#### 4. 시뮬레이션 및 평가

이번 장에서는 시뮬레이션을 통하여 여러 복제 방법들이 도달하는 가용성 품질 향상 정도를 비교해 본다. 모든 시뮬레이션은 공통적으로 랜덤 네트워크 위상을 전제로 하였고, Leda 그래픽 라이브러리[9]를 이용해서 다양한 크기의 랜덤 그래프로 생성하여 이용하였다.

##### 4.1 연구 1 - 가용성 품질 향상, 정적 복제 모델

###### 4.1.1 문제 정의

주어진 복제 개수 범위내에서 가용성 품질 만족도를 높이는(최대화 시키는) '좋은' 복제 위치를 찾는다.

###### 4.1.2 모델 특성 및 기본 전제

완전 복제를 전제로 하며, 노드 및 링크의 오류 발생 확률은 사전 정보로써 주어졌다고 가정한다. 서비스 가용도는 노드와 링크의 서비스 가용도를 고려한다.

###### 4.1.3 배치 알고리즘

최적화 문제에 적합한 알고리즘으로서는 휴리스틱(Heuristics) 방법들이 주로 사용된다. 이는 대상 문제의 특성(NP-hard 이산 배치 문제 (10,11,12))상 정확한 해답을 구하기 위해서는 지수(Exponential)의 시간이 필요하기 때문인데, 휴리스틱 방법을 이용할 경우 짧은 시간안에 대체로 좋은 답을 구할 수 있다. 본 기고에서는 (휴리스틱 개발이 주목표가 아니기 때문에) 다음과 같이 간단한 랭킹기반 휴리스틱을 적용하였다. 휴리스틱별로 특징을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- Random(RA). 노드의 특성을 고려하지 않고,

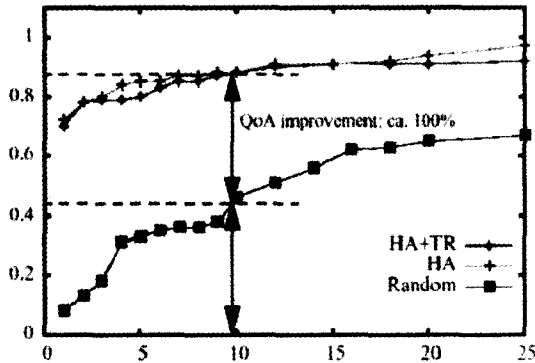
임의의 노드를 선택하여 복제 위치로 선정한다. 랜덤값은 균일분포 랜덤생성기를 통하여 생성한다.

- HighlyAvailableFirst (HA). 각 노드별로 노드의 가용자원, 노드에 연결된 링크들의 가용도 등, 노드가 제공할 수 있는 실제 가용도를 계산한 후, 계산값이 높은 노드부터 허용된 복제 개수만큼 노드를 선정한다.

- HighlyAvailableFirst with HighestTransit Node(HA+TR). HA알고리즘에 'Transit Node' 개념을 추가한 것으로써, HA+TR은 HA값이 높은 노드 중에서 이웃한 노드와의 연결링크 수가 많은 노드를 우선적으로 선정하는 방법이다.

###### 4.1.4 시뮬레이션

먼저 복제 허용 개수를 고정시키고, 각각의 휴리스틱별로 도달한 가용성 품질값을 조사해 보았다. 복제를 가질 수 있는 노드는 자신의 위치에 제한 받지 않고 선정될 수 있게 했다(무제한 배치: Unconstrained Placement). (그림 3)은 각 휴리스틱별로 도달된 가용성 품질의 평균 만족도를 보여준다. 예제 그래프G(V,E)로써 노드수(|V|)=200 연결 링크수(|E|)=300인 그래프를 이용했고, 링크의 오류발생확률 0~10%, 노드 결합확률 50~99% 범위로 정했으며, 노드별로 서비스 접근시에 가지는 가용성 품질 요구레벨 값은 50~99%로 전체했다. 모든 확률값은 균일 랜덤분포 함수로 정했다. (그림 3)에서와 같이, HA및 HA+TR은 비록 단순한 휴리스틱이지만 랜덤하게 복제 배치를 결정하는 방법에 비해 현저히 높은 가용성 품질을 제공한다. 예를 들어, 복제 허용 개수가 10인 경우, HA및 HA+TR은 랜덤의 경우에 비하여 거의 100%에 가까운 평균 만족도 향상을 보여준다. 한편, 복제 개수가 5에서 25개로 증가하는 동안 가용성 품질 향상률은 12%정도 밖에 안되지만, 이는 복제 개수가 가용



(그림 3) 휴리스틱별 평균 가용성 품질 만족도 :  
x축은 복제 개수, y축은 평균 가용성 만족정도를 나타냄

성 품질 향상에 큰 영향을 미치는 요소라는 것을 확인하기에 충분하다.

#### 4.2 연구 2 - 가용성 품질 보장, 정적 복제 모델

##### 4.2.1 문제 정의

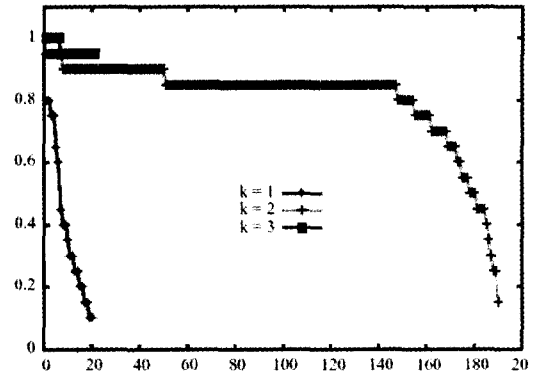
데이터 접근을 시도하는 모든 노드들의 서비스 가용성 품질 요구레벨의 만족을 보장하는 절대 최적의 복제 위치를 찾는다.

##### 4.2.2 모델 특성 및 기본 전제

연구 1의 경우와 동일하다.

##### 4.2.3 배치 알고리즘

품질을 보장할 수 있는 솔루션을 제공하기 위해서는 절대적으로 확실하고 완벽한 계산이 기본적으로 가능해야 한다. 즉 휴리스틱의 방법처럼 절



(그림 4) 상태열거 알고리즘을 이용하여 복제 허용 개수별로 체크한 가용성 품질 보장 여부 : x축은 복제 개수별 가능한 모든 노드집합의 경우수이고, y축은 가용성 품질 보장 정도의 평균임

대 최적의 경우에 근접한 정도의 솔루션을 제공하는 완벽한 보장을 제공하기 어렵다. 이런 특성을 감안할 때, 가용성 품질 보장을 위해서는 절대적 방법(Exact Method)의 알고리즘 사용이 요구된다. 절대적 알고리즘으로서, 본 실험에서는 시스템 노드 및 링크의 가능한 모든 상태를 모두 체크하는 '상태열거' (State Enumeration) 방법(11)을 이용해 본다.

##### 4.2.4 시뮬레이션

상태열거 알고리즘의 지수적 계산 소요시간 및 시뮬레이션 실행시의 메모리 소모량을 감안하여, 편의적으로 작은 크기의 네트워크를 대상으로 예제 랜덤 그래프를 정하였다: 노드수 ( $|V|$ )=20, 연결링크수 ( $|E|$ )=30. 연구 1에서처럼 무제한 배

<표 1> 상태 열거 알고리즘을 이용하여 가용성 품질 보장여부를 시험한 결과

| No. of replicas | Best QoS value | Worst QoS value | Mean QoS value | Instances achieved the best QoS value                         |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---|
| 1               | 0.80           | 0.10            | 0.3345         | {0},{8}   |
| 2               | 0.95           | 0.15            | 0.8078         | {0,11},{0,18},{8,11},{8,18},{11,13},{12,16},{13,16}           |
| 3               | 1.00           |                 |                | {0,11,16},{0,16,18},{8,11,16},{8,16,18},{11,12,16},{11,13,16} |

치 조건에서 노드를 선정하였으며, 링크의 오류발생 확률 0%, 노드 결합확률 90~99% 범위로 정했고, 노드별 가용성 품질 요구레벨 값 역시 90~99%로 전제했다. 모든 확률값은 균일 랜덤 분포 함수로 정했다. <표 1>은 복제 개수별로 가용도 품질 만족이 보장된 노드들의 최고/최저/평균 개수를 총 노드수와 의 비율로 나타낸다. <표 1>의 맨 오른쪽 컬럼은 복제 노드 개수별로 최고 가용도 품질값을 달성한 노드 집합들의 경우 (Instances)를 보여준다. 복제 개수 3에서 최고 품질값 1.00은, 사용한 예제 그래프의 경우 복제 노드를 3개 이용한 경우 (원래 서비스 노드 포함), 모든 노드들의 개별 가용성 품질 요구레벨의 만족을 보장할 수 있음을 의미한다.

한편, (그림 4)는 각각의 복제 개수별로, 가능한 모든 노드집합의 경우를 대상으로 조사한 가용성 품질 보장 결과를 보여준다. (그림 4)와 <표 1>에서 볼 수 있듯이, 같은 복제 개수 안에서도 복제의 배치(즉 복제가 위치할 곳으로 선정된 노드)에 따라 도달할 수 있는 가용성 품질 보장정도가 현저하게 다르다. 예를 들어, 복제 허용 개수가 1인 경우, 가용성 품질 보장의 최저값과 최고값은 70% (전체 20개 노드 중에서 14개 노드)의 차이를 보인다. 복제 허용 개수가 2인 경우에도 최고값(95%)과 최저값(15%)의 차이가 80%로서, 이는 복제 배치가 가용성 품질 향상 및 보장에 결정적인 인자로 작용할 수 있음을 뚜렷하게 보여준다.

#### 4.3 연구 3 - 가용성 품질 향상, 동적 복제 모델

##### 4.3.1 문제 정의

'업' 노드의 갯수와 연결링크가 동적으로 변하는 시스템 환경에서, 가용성 품질 만족도를 높이는 (최대화 시키는) '좋은' 복제 위치를 동적으로 결정한다.

##### 4.3.2 모델 특성 및 기본 전제

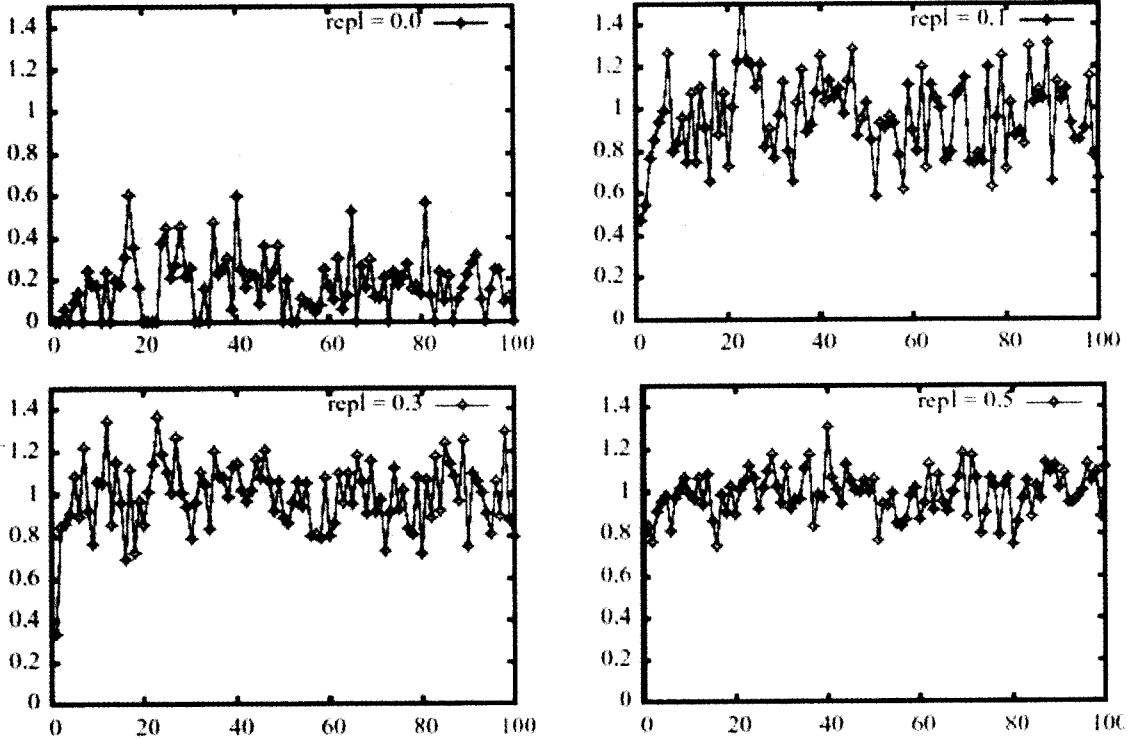
부분 복제를 전제로 하며, 노드 및 링크 오류 발생 확률에 대한 정보는 사전에 주어질 수도 또는 아닐 수도 있다. 서비스 가용도는 노드와 링크의 서비스 가용도 외에 데이터 및 자원의 가용여부 등 (그림 1)에서 명시한 서비스 가용정의의 모든 조건을 고려하여 결정한다. 또한 복제 위치에 대한 결정은 서비스 개시 전(Proactive)과 개시 중(Online)에 모두 일어나며, 특히 각각의 노드별로 분산(Decentralized)되어 온라인상에서 이루어진다. 이를 효과적으로 처리하기 위하여 사건 기반 시뮬레이션(Event-driven Simulation) 모델을 이용한다.

##### 4.3.3 배치 알고리즘

기본적으로 빠르게 변하는 동적 서비스 환경에 적합한 배치 결정을 하기 위해서는, 지수의 계산 시간을 필요로 하는 절대적인 방법보다는 짧은 시간 안에 대체로 좋은 해답을 내줄 수 있는 휴리스틱 방법이 현실적이다. 또한, 전체 네트워크 및 서비스 접근 정보에 대한 가용여부를 필수조건으로 전제하지 않았기 때문에, 노드별로 제한적인 부분 정보만을 가지고 배치 결정을 해야하는 상황에서 절대적인 알고리즘의 사용은 별효과가 없다. 따라서, 이번 실험에 적합한 배치 알고리즘으로 사전형 배치 단계에는 랜덤한 방법을 이용해 보고, 주문형 배치 단계에는 연구 1에서 사용한 랭킹기반 휴리스틱을 이용해 본다. 한편 사전형 배치 단계에서 복제 개수는 균일(uniform)하거나 또는 접근 요구수에 비례하게 결정하였고, 주문형 배치 단계에는 다음의 휴리스틱을 추가로 적용해 보았다.

- HighlyUpFirst(UP). 노드의 '업(UP)' 시간 정보를 바탕으로, '업' 시간이 긴 노드를 우선적으로 선정한다.
- Combined(HA+UP). HA와 UP 개념을 통합한 방법으로, 첫 번째 우선순위가 놓인 값(HA 또는 UP)에 따라, 두 번째 우선 순위의 값이 평





(그림 5) 복제 비율 변화에 따른 가용성 품질 향상정도 : x축은 시뮬레이션 시간 슬롯을 나타내고, y축은 도달된 가용성 품질 만족정도 값을 슬롯별 평균치로 보여줌. 슬롯당 평균 10개의 데이터 접근요구를 발생시킴

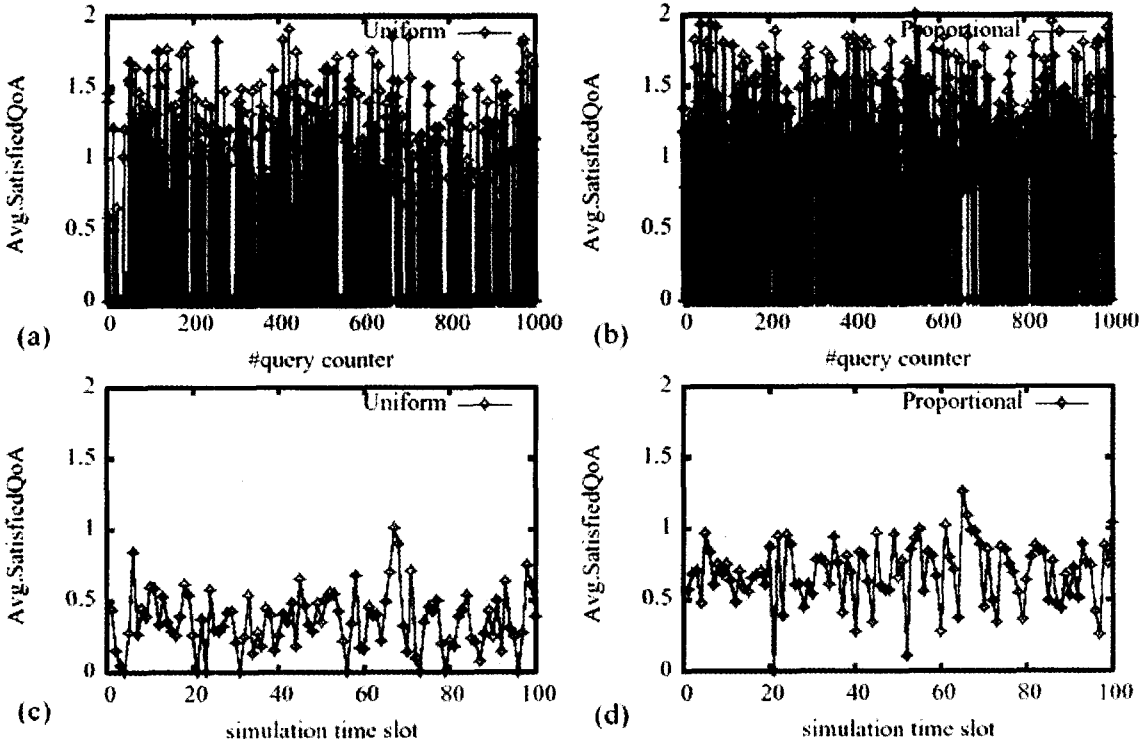
균이상 (높을 수록 좋음)인 노드를 선정하는 방법이다.

- Local. 동적 복제 배치 모델에서 주문형 복제 생성 단계에 이용된 방법으로, 데이터 접근 요구를 의뢰한 노드를 선정하는 방법이다(Local Caching과 같은 방법임). 저장용량의 한계로 인하여 복제의 덮어쓰기가 필요할 경우, 'Least Recently Used(LRU)' ('Most Frequently Used(MFU)' 로 교체가능) 정책을 쓴다.

시뮬레이션. 이번 실험에서는 가용성 품질 향상 정도를 크게 세 가지 각도 - 복제개수 비율의 변화, 복제 개수 결정 정책(Uniform vs. Proportional) 및 동적 복제 배치 결정 정책 변화 등 - 에서 조사해 보았다.

(1) 복제개수 비율의 변화에 따른 가용성 품질 향상 정도

먼저 복제 배치 및 복제 대상 데이터 결정 정책에 무관하게, 복제개수를 전체 (등록된) 노드수에 대한 비율로써 변화시켜 보면서 가용성 품질 향상 정도를 조사해 보았다. 예제 그래프G(V,E)로서 노드수 (|V|)=1000, 연결링크수 (|E|)=3000인 랜덤 그래프를 이용했고, 링크의 오류발생확률 0~10%, 노드별 평균 '업' 시간 확률 평균 30%로 정했으며, 노드별로 서비스 접근시에 가지는 가용성 품질 요구레벨 값은 50~99%로 전체했다. 또한 초기 단계의 복제 사전 배치는 랜덤함수를 주문형 배치는 Local-LRU정책을 기반으로 했으며, 데이터 접근 요청들의 분포는 균일 함수로 정했다. (그림 5)는 복제 비율 변화에 따라 도



(그림 6) 복제 대상 결정 정책에 따른 가용성 품질 향상 정도 : 균일 정책과 비례 정책을 비교한 것임

달된 가용성 품질의 평균 만족도를 보여준다. (그림 5)에서와 같이, 복제비율이 높을수록 당연히 가용성 품질 만족도가 비례적으로 높아진다. 즉 데이터 접근을 요구하는 노드에 이미 그 데이터가 로컬 저장소에 존재할 경우, 가용성이 높아짐을 의미한다.

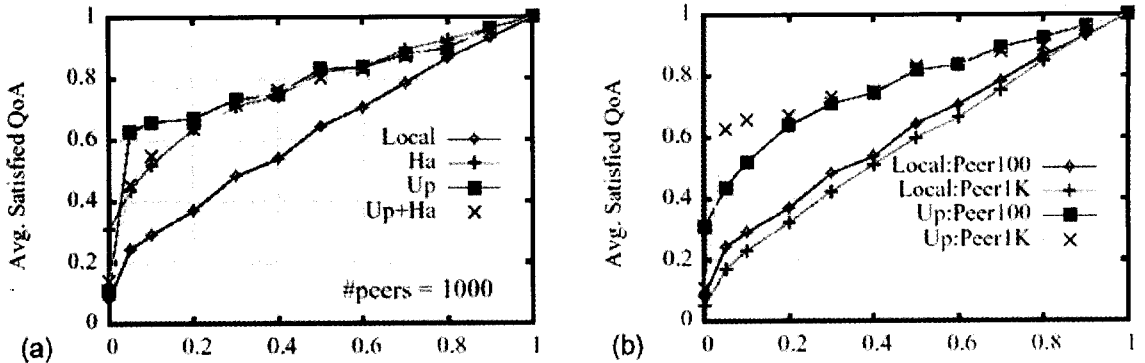
(2) 복제 개수 결정 정책 변화에 따른 가용성 품질 향상 정도

이번 실험에서는 복제 개수를 결정하는 정책별로 가용성 품질의 향상폭을 비교해 보았다. 즉 일괄적으로 균일하게 복제 개수를 정하는 정책 이외에, 만일 사전에 데이터의 중요도 또는 인기도를 예측할 수 있는 정보를 알 수 있다면, 이에 각 데이터별 복제개수를 정할 수 있게 된다. 시뮬레이션 파라미터 값은 이전(실험 1.)의 경우와 동일하

게 하였다. (그림 6)의 상단에 있는 두 그래프는 각각의 요청을 대상으로, 그리고 하단의 두 그래프는 시뮬레이션 시간 슬롯별로 평균을 취한 값으로, 균일 정책과 비례 정책을 비교하여 가용성 품질의 평균 만족도를 보여준다. (그림 6)에서와 같이, 동적 복제 배치 결정을 행하더라도 복제 대상 데이터에 대한 사전 정보를 확보할 수 있으면 좀 더 높은 수준의 가용성 품질 가용도를 제공할 수 있게 된다. [13,14]는 비례정책의 변형 (Square-root Proportional)을 구체적으로 연구하여 소개한 바 있다.

(3) 동적 복제 배치 결정 정책 변화에 따른 가용성 품질 향상 정도

임의의 데이터 접근 요청에 대하여 해당 데이터가 가용한 경우라도, 제공되는 가용성 품질정도가



(그림 7) 동적 복제 배치 휴리스틱별 가용성 품질 향상 정도 비교:

(a)노드수 - 1000인 경우 (b) 노드수 - 각각 100 (Peer100), 1000(Peer1K)인 경우. X축은 복제개수 비율을 나타내며, y축은 가용성 품질 만족정도의 평균값을 나타냄

요구값에 미치지 못하는 경우에, 다음의 접근 요청들을 위하여 동적으로 복제를 생성할 수 있다 (주문형 복제 배치 단계의 경우). 이번 실험에서는 서비스 기간 중에 복제 배치를 결정하는 정책 (제안한 휴리스틱)별로 가용성 품질의 향상폭을 비교해 보았다. (그림 7)은 각각 다른 배치 정책에 따라 도달된 가용성 품질의 평균 만족도를 보여준다. 시뮬레이션 파라미터 값은 이전 (실험 1, 2)의 경우와 동일하게 하였고, 다만 주문형 배치 정책을 여러 휴리스틱 별로 다르게 하였다. (그림 7)-(b)의 경우는 서로 다른 크기의 랜덤 그래프를 바탕으로 특히 Local-LRU과 UP휴리스틱의 효율성을 비교하여 보여준다. (그림 7)에서와 같이, 데이터 접근을 요청한 노드의 가용성 품질이 요청한 수준에 못 미쳤을 경우에, 그 노드의 지역 저장소에 복제를 생성하여 위치시키는 것보다, 그 노드가 도달 가능한 이웃 노드 중에서 가용성 제공 조건이 좋은 노드에 위치시켰을 경우에 더 높은 수준의 가용성 품질 만족정도를 이끌어 낼 수 있음을 알 수 있다. 즉, 동적으로 노드간의 연결 및 노드별 '업(up)' 시간이 바뀌는 시스템 환경에서 직접 이웃한 노드들에 대한 정보(즉, 전체 네트워크에 대한 부분 정보)만으로도 시스템 전반

에 걸쳐 보다 높은 수준의 가용성 품질 만족도를 가질 수 있는 것을 의미한다. 예를 들어, 전체 노드수-대-복제개수 비율이 10-50%인 구간의 경우를 보면(그림 7) Local보다 휴리스틱을 이용한 경우에 가용성 품질 향상폭이 30-70%에 이른다. 이는 다른 한편으로 볼 때, 네트워크에 대한 전역 정보 가용이 불가능한 P2P시스템의 경우, 이웃한 노드간에 상호협력을 통한 복제배치 결정이 가능할 경우, 가용성 품질 향상 효율이 훨씬 높을 수 있음을 시사한다.

## 5. 결론

본 기고에서는 P2P시스템과 같이 시스템 구성 요소들의 가용 정도가 동적으로 자주 변하고 예측 불가능한 광역 분산 시스템을 대상으로, 가용성 품질의 만족 및 보장에 관한 문제를 다루었다. 먼저, 가용성 품질 개념을 바탕으로, 기존의 가용도 정의를 인터넷기반 광역시스템의 특성에 적합하도록 세분화하여 재정의(Refinement)하고, 특히 차별화된 가용도 품질 레벨을 요구하고 측정할 수 있도록 가용도를 QoS의 새로운 평가 척도로서 제어 및 관측 가능한 QoS 파라미터로 정의하였다.

다음은 복제 기술을 토대로 서비스 가용성 품질 향상 문제를 집중적으로 다뤄보았다. 특히 복제 선정 및 배치 문제를 시뮬레이션 모델을 이용하여 다뤄보고, 복제의 개수 및 배치가 가용성 품질의 만족 정도에 미치는 영향을 조사해 보았다. 시뮬레이션의 초점은, 주어진 분산 시스템과 가용도 요구값에 대하여, 시스템의 모든 구성 요소별 가용 정도 및 결합 발생 여부를 구체적으로 반영하면서, 동시에 모든 노드(고객)들의 개별 가용성 품질 요구 레벨을 만족 시키는, 복제 개수와 배치를 결정하는 것에 있었다.

시뮬레이션 결과를 통하여, 복제의 배치는 복제의 개수 이상으로 가용성 품질에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 한편 P2P시스템의 경우 Peer 간에 상호 협력을 통한 복제 배치 결정은 노드의 지역 저장소만을 이용하는 경우보다 전체 P2P 시스템의 서비스 가용성 품질을 좀 더 효과적으로 높일 수 있음을 제시한다. 한편, 본 기고의 연구 내용은 궁극적으로 가용성 품질 개념에 관한 모델과 메커니즘 개발에 초점을 두었으며, 향후 가용성 품질 개념을 지원하는 광역 분산 시스템의 연구 개발에 기초로서 활용될 수 있기를 기대해 본다.

### 참고문헌

- [1] Zheng Wang. Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service. Lucent Technologies, 2001.
- [2] J. Schmitt. Heterogeneous Network QoS Systems. Kluwer Academic Pub., June 2001. ISBN 0-793-7410-X.
- [3] H. Schulzrinne. "QoS over 20 Years," Invited Talk in IwQoS' 01. Karlsruhe, Germany 2001.
- [4] G. Coulouris, J. Dollimore and T. Kindberg. Distributed Systems, 3<sup>rd</sup> Ed., Addison-Wesley, 2001.
- [5] G. On, J. Schmitt and R. Steinmetz. "On availability QoS for Replicated Multimedia Service and Content," in LNCS 2515(IDMS-PROMS' 02), pp. 313-326, Portugal, Nov. 2002.
- [6] G. On, J. Schmitt and R. Steinmetz. QoS-Controlled Dynamic Replication for Peer-to-Peer Systems. in Praxis in der Informationsverarbeitung & Kommunikation(PIK), K.G. Sauer Verlag, Special Issue on Peer-to-Peer, 26(03/03), June 2003.
- [7] KaZaA. <http://www.kazaa.com/>
- [8] Gnutella. <http://www.gnutella.com/>
- [9] LEDA. Algorithmic Solutions Software GmbH. Software available at <http://www.algorithmic-solutions.com/>
- [10] M.R. Garey and D.S. Johnson. Computers and Interactability: A Guide to the Theory of NP-Completeness, Freeman, 1979.
- [11] C. Lucet and J.F. Manouvrier. "Exact Methods to compute Network Reliability," in Proc. Of 1<sup>st</sup> International Conf. on Mathematical Methods in Reliability, Bucharest, Roumanie, Sep. 1997.
- [12] N. Mladenovic, M. Labbe and P. Hansen. "Solving the p-Center Problem with Tabu Search and Variable Neighbourhood Search," July 2000. paper available at <http://www.crt.umontreal.ca/>

- [13] Q. Lv, P. Cao, E. Cohen, K. Li and S. Shenker. "Search and replication in unstructured peer-to-peer networks," in Proc. of the 16th ACM International Conf. On Supercomputing (ICS' 02)," New York, USA, June 2002.
- [14] E. Cohen and S. Shenker. "Replication Strategies in Unstructured Peer-to-Peer Networks," in Proc. Of ACM SIGCOMM' 02, Pittsburgh, USA, Aug. 2002.

## 저자약력



온기원

1988년 독일 Dortmund Universitaet 전산학과  
Vordiplom

1992년 독일 Dortmund Universitaet 전산학과 Diplom

1993년 - 1999년 한국전자통신연구원 컴퓨터.소프트웨어기술  
연구소 선임연구원

1999년 - 현재 독일 Technische Universitaet Darmstadt  
전자/컴퓨터공학과 연구원

관심분야 : 분산 멀티미디어 시스템, 서비스 품질, 멀티미디어  
통신

이 메 일 : giwon@kom.tu-darmstadt.de