

Design and Performance Analysis of P2P-SIP Structure Applied of Quorum System based on Fuzzy Logic in an Intelligent Home Network

SeungWon Kim[†] · MoonHyun Kim^{**}

ABSTRACT

Since it costs a lot to build a home network system of new service provider, the entry barrier is quite high. If it would be possible to build a home network system with high performance at a low building cost, it would be quite attractive. If a home network would be built in P2P-SIP(Peer to peer - Session Initiation Protocol) structure, it is possible to decrease server maintenance cost and keep high usability by deconcentrating the traffic concentrated on the server. It is also possible to efficiently manage the location information of terminal, if quorum system based on fuzzy logic would be applied. In this paper we propose the P2P-SIP structure applied of quorum system based on fuzzy logic by which a home network system can be built at low cost. It was possible to know by comparing the structure with existing one that the structure has very good performance.

Keywords : Home Network, Home Gateway, Intelligent, Smart Home, P2P, SIP, P2P-SIP, Fuzzy, Quorum

지능형 홈네트워크에서 퍼지 논리 기반의 퀴럼 시스템을 적용한 P2P-SIP 구조의 설계 및 분석

김 승 원[†] · 김 문 현^{**}

요 약

신규 사업자의 홈네트워크 시스템 구축은 많은 비용이 필요하기 때문에 진입 장벽이 높다. 만약 낮은 구축비용으로 고성능의 홈네트워크 시스템 구축이 가능하다면 매우 매력적인 것이다. 홈네트워크를 P2P-SIP(Peer to peer - Session Initiation Protocol) 구조로 구성한다면 서버로 집중되는 트래픽을 분산시켜 서버의 유지 보수 비용을 줄이고, 높은 가용성을 유지할 수 있다. 또한, 퍼지 논리 기반의 퀴럼 시스템을 적용한다면 단말의 위치 정보를 효율적으로 관리할 수 있다. 본 논문에서는 다음과 같이 낮은 비용으로 홈네트워크 시스템을 구축할 수 있는 퍼지(Fuzzy) 논리 기반의 퀴럼(Quorum) 시스템을 적용한 P2P-SIP 구조를 제안하며 기존 구조와의 비교를 통해 매우 우수한 성능의 구조임을 알 수 있었다.

키워드 : 홈네트워크, 홈게이트웨이, 지능형, 스마트홈, P2P, SIP, P2P-SIP, 퍼지, Quorum

1. 서 론

최근 홈네트워크는 ICT 산업의 핵심 시장 중 하나로써 미래 신성장동력 산업 중 하나로 각광받고 있다. 세계 주요국들은 미래의 IT 환경이 가정을 중심으로 전개될 것을 전망하고 있으며, 글로벌 기업들도 적극적인 R&D 투자를 통해 시장 선점을 나가고 있다. 한국산업마케팅연구소가 발행한 ‘2013 차세대 홈네트워크·정보가전 시장동향과 미래기

술 개발현황’에 따르면, 스마트홈 세계시장은 2011년 2,472억 9,200만달러에서 연 평균 10.02% 성장률을 보이며, 2016년 3,986억 5,900만달러로 확대될 전망이다. 한국 시장도 2011년 4조 4,950억원에서 2016년 14조 8,744억원으로 연 평균 27.04% 확대될 전망이다[1].

홈네트워크 시스템은 구축 및 유지보수를 위해 매우 많은 비용이 필요하며, 홈네트워크 사업자들은 저비용으로 효율적인 시스템 구축을 위해 고민하고 있다. 기존 홈네트워크 시스템은 전통적인 네트워크 처리 방식인 클라이언트-서버(Client-Server) 구조를 사용하고 있다. 클라이언트-서버 구조로 홈네트워크 시스템을 구축하는 것은 확장성을 위해 매우 많은 비용과 고가의 유지보수 비용을 필요로 한다.

[†] 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신대학원 석사과정

^{**} 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

논문접수 : 2014년 1월 6일

수정일 : 1차 2014년 2월 18일, 2차 2014년 2월 21일, 3차 2014년 2월 24일

심사완료 : 2014년 2월 24일

* Corresponding Author : MoonHyun Kim(mhkim@skku.edu)

본 논문에서는 저비용, 고효율적인 효과를 발생할 수 있는 P2P-SIP(Peer to Peer - Session Initiation Protocol) 구조를 제안한다[2]. 또한, 홈네트워크 서비스 지역의 중요도를 적응적으로 적용한 퍼지(Fuzzy) 기반 쿼럼(Quorum) 시스템을 적용한다.

P2P-SIP 구조는 각 단말 간의 연결을 통해 기존 서버의 동작을 수행하여 서버로 집중되는 트래픽을 분산, 서버의 유지보수 비용을 대폭 줄일 수 있다. 또한, 중앙 서버에서 장애가 발생하거나 공격을 당하는 경우 서비스가 완전 마비되는 현상을 방지하여 높은 가용성을 유지할 수 있다.

제안하는 구조는 퍼지 논리 기반 쿼럼 시스템을 이용하여 위치 갱신 및 질의에서 다이아몬드형태의 작은 쿼럼으로 고성능 및 메시지 비용을 줄일 수 있다[3]. 또한, 지역별로 수많은 단말들의 등록과 위치 정보를 효율적으로 관리하기 위해 홈과 로컬을 구분한 2 레벨 구조로 관리 지역을 구분하였다[4]. 가정 내 수많은 단말들을 관리하기 위한 SIP(Session Initiation Protocol) 서버들의 기능을 P2P-SIP 오버레이 네트워크를 통해 자율 분산적으로 제어가 가능하다[5]. 또한, 도메인 기반 특성으로 홈이 추가되어 발생하는 삼각 라우팅 문제를 해결한다[6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 P2P-SIP 구조, 쿼럼 시스템, P2P(Peer to Peer)기반 홈네트워크의 구성에 대해 소개한다. 3장에서는 지능형 홈네트워크에서 P2P-SIP 구조의 설계와 퍼지 논리 기반 쿼럼 시스템에 대해 기술한다. 4장에서는 제안하는 구조의 성능 분석 및 평가를 분석하고 5장에서는 결론을 논한다.

2. 관련 연구

2.1 P2P-SIP 아키텍처

P2P-SIP 아키텍처는 분산 자원 접근을 지원하는 P2P 통신 방식의 단말에서 기존 SIP 네트워크 장치들이 가지던 기능을 제공한다. 중앙 서버를 의존하지 않고 P2P 형태로 P2P-SIP 오버레이를 하나의 네트워크처럼 활용하여 단말의 등록 및 관리가 가능하다[11]. SIP의 Registrar와 Proxy 같은 서버 없이, SIP UA(User Agent)들이 분산 알고리즘을 통해 서버의 기능을 대신함으로써, 요청 단말은 호 연결 설정을 위해 INVITE 메시지를 자신과 연결된 다른 단말에게 전송한다. INVITE 메시지를 받은 단말은 본인이 처리할 수 없는 경우 다른 단말에게 전송하는데, 이런 과정을 반복하여 상대방을 찾아내고 호를 연결한다.

Fig. 1은 P2P-SIP의 개념을 나타내고 있다. Peer Y가 자신의 접속 정보 (U@Y)를 P2P-SIP 오버레이 네트워크에 저장하면, 다른 Peer X가 Peer Y에 연결하기 위해 오버레이 네트워크에서 Peer Y의 접속 정보를 얻는다. 이후 INVITE 메시지를 Peer Y에게 전송하여 호를 연결한다[7][8].

홈네트워크에서 SIP를 이용해 단말의 정보를 저장하고 호를 연결하는 서비스를 위해서는 SIP 서버가 필요하다[9]. 그러나 P2P-SIP에서는 각 단말들이 서버의 기능을 수행한다.

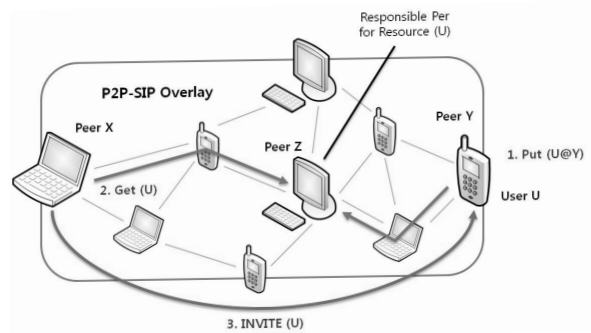


Fig. 1. Concept of P2P-SIP

각 단말이 호를 연결하기 위해 자신과 연결된 단말에게 요청 메시지를 보내면 해당 요청 메시지를 본인이 처리할 수 있는지 확인 후 처리가 불가능한 경우 다른 단말에게 전송하여 목적 대상을 찾고 호를 연결할 수 있다.

홈네트워크 내 단말 기기들의 효율적으로 통신을 위해서 계층적인 P2P 기반 오버레이(Overlay) 네트워킹에 의한 연결성 및 검색 기법, QOS 및 보안을 안정적으로 지원하는 P2P 기반 콘텐츠 분배 기법, 그리고 이에 수반되는 각종 미디어 지원 홈 네트워크 기기들의 자원 관리 및 구성 기법 등의 다양한 사항들이 만족되어야 한다[7].

각 단말간의 구성되는 오버레이 네트워크는 분산 해시 테이블 기법인 DHT(Distributed Hash Table)을 사용하여 네트워크 망에 저장된 데이터의 검색을 효율적으로 수행할 수 있다[10]. 이는 일정한 규칙을 통해 저장할 피어를 결정하기 때문에, 데이터 검색 시 동일한 규칙으로 빠른 탐색이 가능하다. P2P-SIP 오버레이 네트워크에 참여한 단말을 피어(Peer)라고 부르며, 네트워크 내 접속하려는 피어에게 기존에 연결되어 있는 피어의 정보를 알려주는 부트스트랩 서버가 존재한다[11].

2.2 쿼럼 시스템

쿼럼(Quorum)이란 교집합의 원소를 하나 이상 가지고 있는 것을 말한다. 여러 집합 중 어떤 두 집합을 선택하더라도 교집합이 되지 않는 집합들의 모임을 쿼럼이라고 한다. 쿼럼 시스템은 분산 네트워크 시스템에 주로 이용되고 있으며, 다양한 구조가 존재한다. 그 구조 중 다이아몬드 쿼럼 시스템(Diamond Quorum System)과 제안하는 퍼지 논리 기반 쿼럼 시스템의 지역 범위는 Fig. 2와 같이 2차원 다이아몬드 형상으로 배열된다[3][12]. Fig. 2는 DQS의 읽기 쿼럼 및 쓰기 쿼럼의 예를 보여준다. 노드는 동그라미로 표시되고, 다이아몬드 모양의 상단과 하단 행은 두 개의 노드가 각각 포함되어 있다. 다이아몬드 구조에서 행의 수가 홀수라고 가정하면, 맨 윗줄은 레벨 0, 두 번째 행은 레벨 1로 구분된다. 쓰기 쿼럼을 구성하기 위해 하나의 행의 모든 노드를 추가하고 나머지 각 행의 임의의 노드를 선택할 수 있다. 읽기 쿼럼 또한 모든 전체 노드의 행 또는 각 행의 임의의 노드를 선택 가능하다.

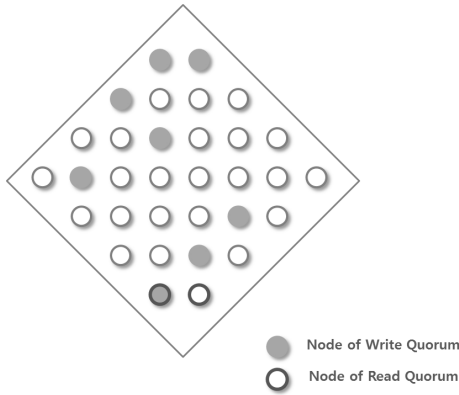


Fig. 2. Read quorum and a write quorum

P2P-SIP 구조에서 쿼럼 시스템은 위치 관리 서비스를 위해 적용하고자 한다. 쿼럼 시스템을 적용한 위치 관리 서비스는 보통 위치 갱신(Location Update), 위치 요청(Location Request), 위치 응답(Location Response)의 3가지 요소로 구성되어 있다. 위치 갱신은 P2P-SIP 오버레이 네트워크에 참여한 노드들이 다른 지역으로 이동하는 경우 자신의 위치를 로컬 게이트웨이로 전송하여 위치 정보를 갱신하는 것을 말한다. 위치 요청은 각 노드 간의 통신을 위해 해당 노드의 위치 정보를 홈 게이트웨이에게 요청하는 것을 말한다. 마지막으로 위치 응답은 해당 요청에 대해 홈 게이트웨이가 해당 노드의 위치 정보를 요청 노드에게 응답해주는 것을 말한다. 작은 쿼럼 크기는 메시지 비용을 줄이는 데 밀접한 관계가 있다.

2.3 P2P-SIP 기반 홈네트워크의 구성

홈네트워크의 구성을 위해서는 네트워크 인프라가 가장 중요하다. 신규 사업자가 홈네트워크 서비스를 한다고 했을 때, 지역별로 가정 내 단말들을 관리하기 위해 수많은 단말들의 등록과 위치 정보를 고려해야 한다. 또한, 가정 내 단

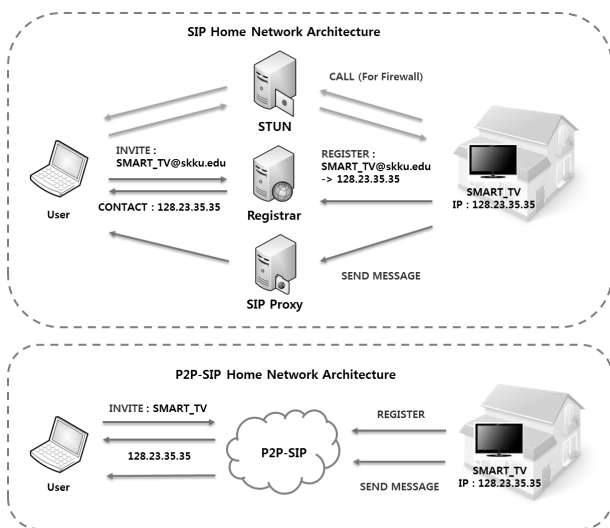


Fig. 3. SIP based and P2P-SIP based homenetwork

말이 이동하는 경우 외부에서 원격 제어를 위해 고가의 홈 서버를 설치하여 관리해야 한다. 이는 많은 유지보수 비용을 필요로 하게 되며, 홈 서버에서 장애가 발생하거나 공격을 당해서 마비가 되는 경우 원활한 서비스가 불가능하게 된다.

Fig. 3은 SIP 구조 기반 홈네트워크와 P2P-SIP 기반 홈네트워크의 서비스 연결 동작을 비교를 나타냈다[13]. SIP 구조 기반 홈네트워크는 사용자의 접속을 위한 위치 정보를 관리하는 Registrar, 호 설정을 위한 메시지 전달 및 교환을 수행하는 Proxy Server, 사용자 연결 경로 상의 NAT/Firewall 통과를 담당하는 STUN, TURN 등의 장치들이 반드시 존재해야 한다. P2P-SIP 기반 홈네트워크는 네트워크 장치들이 가지던 기능을 단말에서 제공하므로 더욱 저렴한 비용으로 기존 SIP 서비스보다 더 확장된 영역에서의 서비스 제공이 가능하다.

3. 홈네트워크에서 퍼지 논리 기반 P2P-SIP 구조

3.1 지능형 홈네트워크에서 P2P-SIP 구조

홈네트워크 서비스를 위한 모든 단말기기는 P2P-SIP 오버레이 네트워크를 통해 관리된다. 단말 기기의 P2P-SIP 오버레이 네트워크 가입은 보안을 위해 꼭 인증서가 필요하다. 제안하는 논문은 관리 및 빠른 처리를 위해 홈과 로컬로 관리 지역을 구분하였다. 단말 기기가 다른 지역으로 이동하는 경우 로컬 게이트웨이에서 감지하여 데이터를 전달한다.

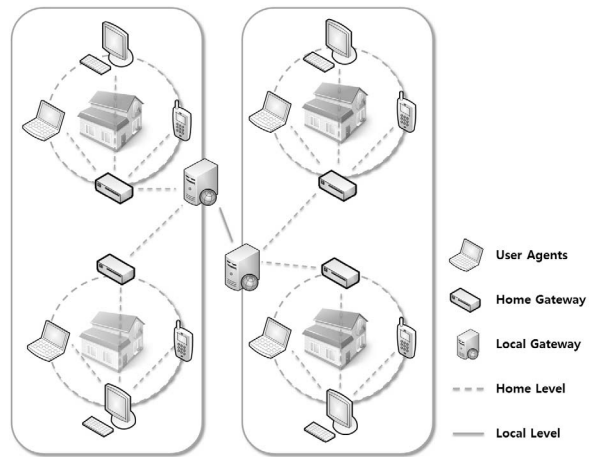


Fig. 4. Two-level Home Network P2P-SIP Architecture

Fig. 4는 홈과 로컬로 관리 지역을 구분한 P2P-SIP 구조를 나타낸다. 가정 내 단말기기는 P2P-SIP 오버레이에 등록되며 홈 게이트웨이가 관리한다. 프로토콜은 SIP를 사용하여 통신을 주고 받으며, 가정 내 단말 기기가 다른 지역으로 이동하는 경우 등록 메시지를 오버레이 네트워크를 통해 게이트웨이에게 전달 후 위치 쿼리 과정을 통해 단말의 위치 정보를 갱신한다.

Fig. 5는 삼각 라우팅 문제와 경로 최적화의 비교를 나타냈다. 제안하는 구조는 도메인 기반의 P2P-SIP 홈네트워크 구조로 설계하여 오버레이 네트워크의 삼각 라우팅 문제를 해결할 수 있다. 두 지역의 홈네트워크로 예를 들면, 서울 지역의 단말 A와 부산 지역의 단말 B가 있을 때, 기존에는 A가 부산 지역으로 이동하여 단말 B로 호 연결을 요청할 때 물리적으로 떨어져 있지만 서울 지역의 홈 에이전트를 거쳐야만 통신이 가능하다. 이는 서비스 지연을 발생시키며 이런 문제를 해결하기 위해 경로 최적화를 제안한다.

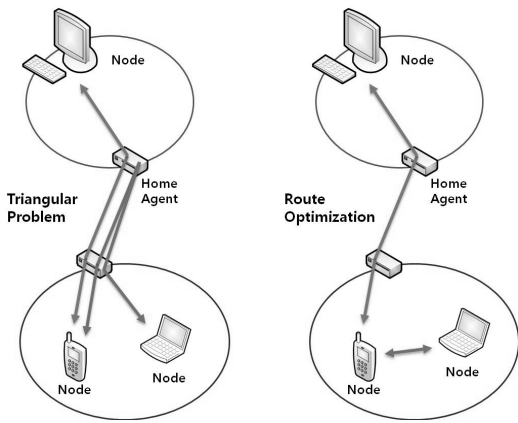


Fig. 5. Triangle routing problem and Route Optimization

제안하는 P2P-SIP 구조의 호출 성립 과정은 같은 도메인 및 다른 도메인에서 발생하는 과정을 포함하며 발신자와 수신자의 위치에 따라 발생할 수 있는 처리는 다음과 같다. INVITE 메시지는 추가 정보들이 포함된다. Fig. 6은 발신자와 수신자가 동일한 도메인에 있는 경우에 발생하는 호출 성립 과정에 대해 나타냈다.

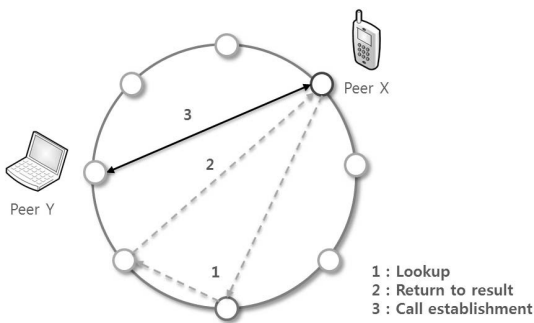


Fig. 6. Established procedure called from same domain

Step 1 : 발신자가 연결을 설정하고자 할 때, 도메인 이름과 수신자의 정보를 비교한다. 발신자와 수신자가 동일한 도메인이라면 발신자는 직접 조회를 수행할 수 있으며, SIP-URI에 대해 해시 함수로 가져오는 처리를 수행한다.
 Step 2 : 발신자는 수신자의 정보를 얻는다.
 Step 3 : SIP 프로토콜을 이용해 연결을 설정한다.

Fig. 7은 발신자와 수신자가 서로 다른 도메인에 있는 경우를 나타냈다. 이는 발신자가 홈 레벨이 아닌 로컬 레벨로 조회 과정을 수행한다.

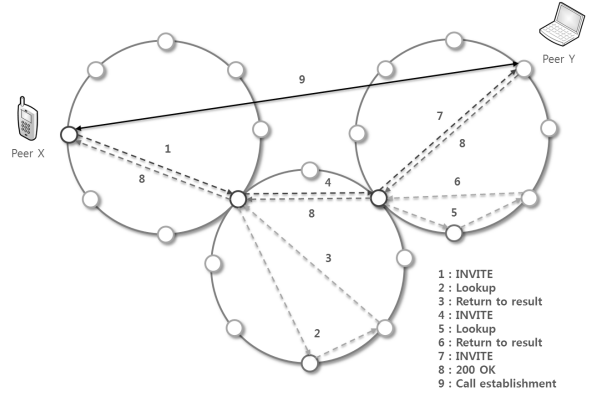


Fig. 7. Established procedure called from another domain

Step 1 : 발신자가 홈 게이트웨이에게 직접 수신자의 필드, 도메인 이름과 Local-ID 필드 정보들이 포함된 INVITE 메시지를 전송한다.
 Step 2-3 : 해시 알고리즘을 이용해 도메인 정보를 찾고, 수신자의 정보를 얻는다.
 Step 4 : 수신자의 홈 게이트웨이를 찾으면 INVITE 메시지를 전송한다.
 Step 5-6 : 수신자의 홈 게이트웨이 정보와 SIP-URI 정보를 해시 알고리즘으로 가져오는 처리를 수행한다.
 Step 7 : INVITE 메시지가 수신자에게 전달된다.
 Step 8 : 200 OK 메시지를 발신자에게 회신한다.
 Step 9 : SIP 프로토콜을 이용해 연결을 설정한다.

3.2 퍼지 논리 기반 쿼럼 시스템

본 논문에서는 P2P-SIP 오버레이 네트워크에서 단말의 위치 관리 서비스를 위해 로컬 게이트웨이에 퍼지 논리 기반 쿼럼 시스템을 적용한다. 가정 내 단말이 다른 지역으로 이동하는 경우 IP Address 정보 등이 포함된 등록 메시지를 오버레이 네트워크를 통해 로컬 게이트웨이에게 전송하여 단말의 위치 정보를 갱신한다. Fig. 8은 가정 내 단말이 다른 지역으로 이동할 때 로컬 게이트웨이에 등록되는 과정을 나타냈다. 이동한 지역의 로컬 게이트웨이는 등록 메시지에 포함된 "Local-ID" 정보를 기반으로 어느 로컬 게이트웨이에서 이동했는지 인지할 수 있다. 홈네트워크 서비스 지역 중요도에 영향을 미치는 요소는 주어진 시간 동안 지역에서 발생하는 위치 갱신과 호 요청 수에 의해 결정된다.

Step 1 : 이동한 지역의 게이트웨이 주소를 발견하면, REGISTER 메시지를 로컬 게이트웨이에게 전송한다.
 Step 2 : 로컬 게이트웨이는 오버레이 네트워크의 조회 과정을 통해 이동한 지역의 게이트웨이로 "To", "From", "Contact" 필드와 "Local-ID" 필드에 도메인 이름을 포함한 "200 OK" 메시지를 전송한다. 이동한 지역의 게이트웨이는

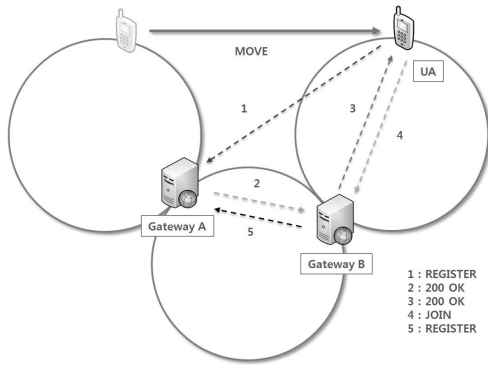


Fig. 8. User Registration

로컬 게이트웨이가 보낸 “200 OK” 메시지를 수신받는다.
 Step 3 : 이후 이동한 지역의 게이트웨이는 가입 처리 과정과 유사한 정보를 “200 OK” 메시지를 단말에게 전송한다.
 Step 4 : 단말은 이동한 지역의 오버레이 네트워크에 가입하고, 이동한 지역의 게이트웨이는 시그널링 절차를 통해 단말의 상태를 알 수 있다.
 Step 5 : 이동한 지역의 게이트웨이는 이동한 단말의 상태를 알리는 REGISTER 메시지를 전달한다.

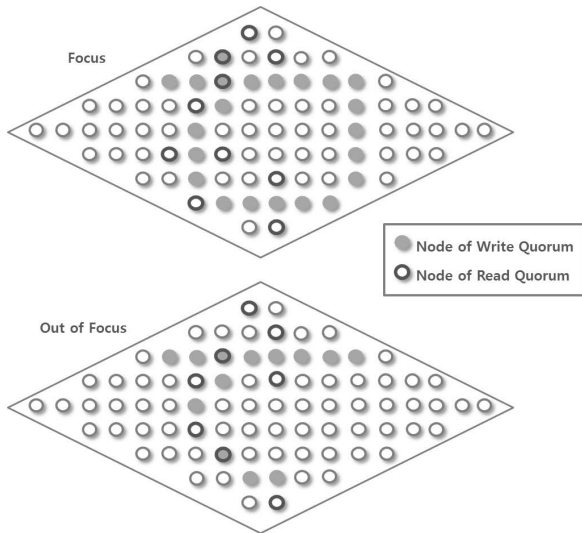


Fig. 9. Focus Area and Out of Focus Area

Fig. 9는 Focus 지역과 Out of Focus 지역에 대한 쿼럼 시스템을 보여준다. 홈 네트워크 내 해당 지역의 쿼럼들은 다이아몬드형태로 논리적으로 배열된다. 다이아몬드 형상안의 원으로 표현된 노드들은 PSP-SIP 오버레이 네트워크에 참여한 위치 피어를 의미하며, 쿼럼 시스템의 최상위와 최하위 행은 각각 2개씩의 위치 피어를 포함한다.
 쿼럼 시스템의 총 행의 개수는 홀수라 가정하고, 최상위 행부터 중간 행까지 각각의 행을 단계로 구분한다. 단말들의 이동성에 대해 퍼지 논리를 이용하여 주요 활동 지역의 중요도를 적응적으로 적용하며 주요 활동이 이루어지 곳을 Focus 지역, 그렇지 않은 곳을 Out of Focus 지역이라고 정

한다. 또한 주요 활동이 이루어지는 지역의 단말을 High, 아닌 단말을 Low라고 부른다. 제안하는 구조는 Diamond 쿼럼을 적용하여 높은 Read 능력과 가장 작은 최적의 Read 쿼럼 크기로 메시지 비용을 줄이도록 한다. 최소 Write 쿼럼 크기는 노드의 전체 상단 또는 하단 행과 나머지 각 행에 대한 노드를 선택하여 얻을 수 있다. 각 행의 피어 수는 모든 단계 $i(i>0)$ 에 대해 w_i 만큼씩 증가한다. 모든 I 에 대해 $w_i = d$ (d 는 상수)이고 각 최상위 행과 최하위 2개씩 노드를 포함하면 a_d 구조인 다이아몬드형의 쿼럼 시스템이 구성된다. 제안하는 논문의 쿼럼 시스템 구조는 모든 i 에 대해 $w_i = 4$ 인 a_4 구조를 적용한다[15].

Table 1. Structure of a_4 Quorum System

Max Level	Configuration	No. of rows	No. of nodes
1	2, 6, 2	3	10
2	2, 6, 10, 6, 2	5	26
3	2, 6, 10, 14, 10, 6, 2	7	50
4	2, 6, 10, 14, 18, 14, 10, 6, 2	9	82
...
k	2, 6, ..., (4k+2), ..., 6, 2	2k+1	4k(k+1) + 2

제안하는 P2P-SIP 구조는 퍼지론리를 이용하여 지역 중요도를 결정한다. 단말의 지역 중요도는 주어진 시간 동안 그 지역에서의 위치 갱신 회수와 호 요청의 개수에 의해 결정된다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 가정 내 단말이 있는 지역의 위치 갱신 횟수와 호 요청 개수에 대한 기본 퍼지 집합을 보여준다. 소속 함수에 의해 각각 세 개의 퍼지 집합으로 인식된다. 위치 갱신 정보는 High 단말의 경우 다른 지역 단말에 비해 호 설정이 빈번하기 때문에 더 많은 홈 지역에서 관리되어야 한다. 그러므로 High의 경우, Focus 지역 쿼럼 시스템에서 쿼럼을 무작위로 선택하고, 홈 지역의 게이트웨이에게 새로운 위치 정보를 전송한다. 만약, Low 단말의 경우 Out of Focus 지역 쿼럼 시스템에서 쿼럼이 무작위로 선

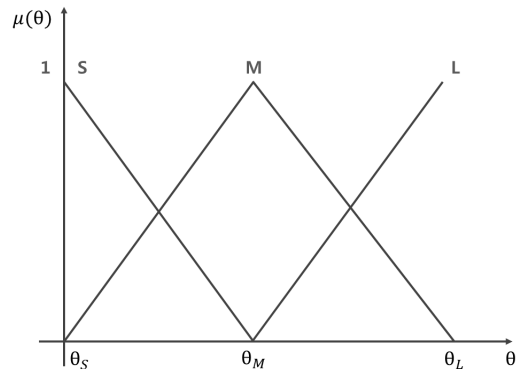


Fig. 10. Basic Fuzzy Set for Number of location update

택 위치정보를 전송한다. High 단말은 다른 단말에 비해 요청이 자주 발생하므로 더 많은 지역에서 관리될 수 있어야 한다.

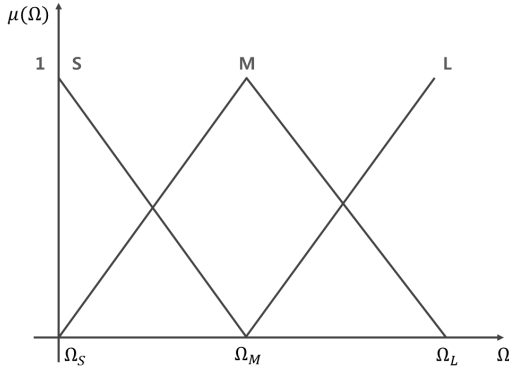


Fig. 11. Basic Fuzzy Set for Number of requests

4. 성능 분석

4.1 시스템 모델링

본 논문에서 제안한 퍼지 논리 기반 P2P-SIP 구조와 일반적인 클라이언트-서버 평면 구조의 메시지 비율, 홉의 수, 위치 관리 비용에 대해 분석한다. 메시지 비율은 P2P 네트워크에서 초당, 노드당 모든 처리 구성 및 이동성 예측 측정값을 합산하여 계산한다. 홉의 평균 숫자는 연결 홉 카운트의 평균수를 나타내고, 대기 시간은 연결을 설정하는 평균 시간에 대해 계산한다. 위치 관리 비용은 위치 갱신 비용과 위치 질의 비용을 합산하여 계산한다.

메시지 비율(M_{prop})은 홉 레벨(M_h)과 로컬 레벨(M_l)을 합산하여 아래와 같이 구할 수 있다[4][14].

$$M_{prop} = M_h + M_l \tag{1}$$

홉 레벨 수식은 아래와 같다.

$$M_h = r_s + r_f \log(N_u) E[H_u] + c_u E[H_u] + \frac{k}{u_r} E[H_u] + \frac{\lambda \log(N_u) E[H_u]}{N_u} \tag{2}$$

식(2)의 $E[H_u]$ 값은 함수 $h(n, N, p)$ 을 이용해 구할 수 있으며 아래와 같다[2].

$$h(n, N, p) = 1 + p^j h(n-1, N, p) + (1-p) \times \sum_{i=1}^{j_n} p^{j_n-i} h\left(n - \left\lfloor \frac{2^i}{2^m/N} \right\rfloor, N, p\right) \tag{3}$$

여기서 j_n 의 조건은 아래와 같다.

$$j_n = \max j : 2^j \leq \frac{2^m n}{N} \tag{4}$$

n 은 홉의 개수, N 은 단말/홉 게이트웨이, 로컬 게이트웨이가 P2P 오버레이 네트워크에 가입된 수이며, p 는 m -bit Chord ID와 노드 실패 확률이다. 오버레이 네트워크에 가입된 모든 단말은 메시지 비율을 기반으로 한다.

P2P 네트워크 내 모든 단말의 가입은 저장키의 값 $k(k = \frac{n}{N})$ 에 대해 1로 고정되며, 홉의 수는 c_u (노드, 초당 통화)를 위한 초대 비율, 핑거 테이블 r_f (노드당 초)를 위한 재등록 비율, 사용자 유지 보수 u_r (노드당 초)를 위한 재등록 간격, 노드 가입과 이동 λ (노드당 초)를 위한 등록 비율을 나타낸다. 홉의 예상 조회 번호는 아래 수식과 같으며, p_u 에 노드 실패 값을 부여하고, N_u 에 단말의 수를, M_h 에는 홉 레벨을 부여한다[7].

$$E[H_u] = \frac{1}{N_u} \sum_{n=0}^{N_u-1} h(n, N_u, p_u) \tag{5}$$

r_s (노드당 처리 시간)는 Chord 링에 대한 재등록 비율이다. 마찬가지로, 로컬 레벨 M_l 의 메시지 비율은 SIP를 기반으로 파생될 수 있다. SIP 서버를 사용하기 때문에 노드의 사용자 유지 보수를 위한 등록 및 새로 고침 간격, 가입 등에 대한 비율은 고려하지 않아도 된다.

로컬 레벨 홉의 예상 조회 번호는 아래 수식과 같다.

$$E[H_l] = \frac{1}{N_l} \sum_{n=0}^{N_l-1} h(n, N_l, p_l) \tag{6}$$

노드 실패 p_l 의 확률과 로컬 게이트웨이의 수에 따라 N_l 은 핑거 테이블 r_f 에 대한 재등록 비율로 사용된다. 또한, 로컬 레벨에서 c_l 호출 성립을 위한 초대 비율로 사용되며 아래와 같이 표현한다[14].

$$M_l = r_s + r_f \log(N_l) E[H_l] + c_l E[H_l] \tag{7}$$

제안하는 논문은 사용자의 이동성에 의해 트리거 신호 절차에 따른 추가 메시지 비율에 대해 다룬다. 같은(다른) 지역의 다른 도메인에서 노드당 처리 시간에 대해 m_l^s 으로 나타낸다. 다른 도메인에 도달하는 경우, 시그널 절차에 의한 로컬 레벨에서의 추가 메시지 비율은 다음과 같다.

$$m_l^s (2 + E[H_l]) \tag{8}$$

일반적으로 $m_i^s \ll c_i$ 이동성 비율은 호출 성립 비율에 비교해 매우 낮다. 따라서 이러한 추가 메시지 비율은 경우에 따라 무시될 수 있으며, 이는 사용자 이동성에 의해 트리어 시그널 절차의 영향이 낮은 것을 말한다.

H_{prop} 와 L_{prop} 의 평균 홉 수로서, 계층적 레벨과 홉의 예상 조회 번호의 참여를 고려하면 다음과 같다.

$$H_{prop} = h_c(E[H_u] + PE[H_l]) \quad (9)$$

$$L_{prop} = h_c(t_u E[H_u] + t_l PE[H_l]) \quad (10)$$

t_u, t_l 은 홉, 로컬 레벨 각각을 위한 세션 설정 대기 시간을 나타내고 P 는 캐시 미스의 확률을 나타낸다. 그리고 h_c 는 평균 DHT 조회 홉 카운트를 나타낸다.

제안하는 다이아몬드 쿼럼 구조는 최대 레벨일 경우 k 의 최소 Read 쿼럼 사이즈가 4이고, 최소 Write 쿼럼 크기는 $4k+2$ 이다. 일반적인 경우, 다이아몬드의 행은 짝수 또는 홀수이다. 다이아몬드 구조에서 두 인접 행 사이의 노드 수는 임의의 정수가 될 수 있으며, 특정 네트워크의 수에 따라 조정도 가능하다. $w_i = d$ 로 설정하고, 단계 0부터 단계 $k-1$ 까지 k 행에 대한 모든 노드의 합은 아래와 같다.

$$A_s(k, d) = \sum_{i=0}^{k-1} a_i = \frac{k(2+kd)}{2} \quad (11)$$

여기서 $a_i = a_0 + id$, $a_0 = 2$ 를 나타내고, 최대 레벨의 k 와 모든 i 를 위한 $w_i = d$ 에서의 $\sigma(k, d)$ 노드의 수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \sigma(k, d) &= 2A_s(k, d) + (k+1)d/2 \\ &= k^2d + 2k + (kd + d)/2 \end{aligned} \quad (12)$$

제안하는 쿼럼 시스템 구조의 위치 갱신 비용과 위치 질의 비용에 대한 계산은 아래와 같다[15].

$$\begin{aligned} C_{total} &= P_{h1}C_{u-high} + (1 - P_{h1})C_{u-low} \\ &\quad + \frac{\lambda}{\mu}P_{h2}C_{q-high} + (1 - P_{h2})C_{q-low} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 P_{h1} 은 위치 갱신 단말이 High일 확률을 나타내고, P_{h2} 는 목적 단말이 High일 확률을 나타낸다. 단말이 각각 High와 Low일 경우의 위치 갱신 비용은 C_{u-high} 와 C_{u-low} 와 같이 표현하며, 수식은 아래와 같다. $\frac{\lambda}{\mu}$ 는 호

이동률을 나타내고, C_{u-cost} 는 단위 위치 갱신 비용을 나타낸다.

$$C_{u-high} = 3\sqrt{N-1}C_{u-cost} \quad (14)$$

$$C_{u-low} = \frac{N}{\sqrt{N-1}} + (\sqrt{N-1} - 1)C_{u-cost} \quad (15)$$

C_{q-high} 와 C_{q-low} 는 단말이 각각 High, Low인 경우의 위치 질의 비용을 나타내며, 수식은 아래와 같다.

$$C_{q-high} = P_{high}C_{home} + (1 - P_{high})\sqrt{N-1}C_{away} \quad (16)$$

$$C_{q-low} = P_{low}C_{home} + (1 - P_{low})\sqrt{N-1}C_{away} \quad (17)$$

여기서 P_{high}, P_{low} 의 수식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} P_{high} &= \frac{3\sqrt{N-1}}{N}, \\ P_{low} &= \frac{1}{\sqrt{N-1}} + \frac{\sqrt{N-1} - 1}{N} \end{aligned} \quad (18)$$

4.2 수치 분석 결과

제안하는 P2P-SIP 구조와 클라이언트-서버 구조의 메시지 비율, 홉의 수의 성능과 제안하는 퍼지 논리 기반의 쿼럼 시스템 구조와 기존 다이아몬드 쿼럼 시스템 구조의 성능을 비교한다. 이전 장에서 구한 수학적 수치 분석 결과 및 모의 실험 결과를 비교 분석한다. 수치 분석 결과는 P2P-SIP 구조와 클라이언트-서버 구조의 메시지 비율, 홉의 수에 대한 분석 평가 결과와 퍼지 논리 기반 구조와 다이아몬드 쿼럼 시스템의 총 비용에 대한 분석 평가 결과를 보여준다. 수치 분석은 시뮬레이션 방식을 이용하며 모의 실험을 위한 시뮬레이터는 C++로 구현하였다. 성능 분석에 사용하는 매개 변수의 값은 아래 테이블을 참조한다.

Fig. 12와 Fig. 13는 제안하는 P2P-SIP 구조와 클라이언트-서버(Flat) 구조의 노드 수에 따른 메시지 비율과 노드 실패 확률에 따른 메시지 비율을 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이, 제안하는 P2P-SIP 구조 방법은 클라이언트-서버 방식에 비해 더 우수함을 알 수 있다. 클라이언트-서버 방식은 노드의 수가 증가할수록 많은 유지보수 비용이 필요하지만, P2P-SIP 구조는 노드의 수가 점점 증가해도 기존보다 많은 유지보수 비용이 필요하지 않다. 특히, 노드 수에 따른 메시지 비율은 월등한 결과를 보여줬으며, 노드 실패 확률에 따른 메시지 비율에서도 평균 7배 이상의 매우 효율적인 결과를 보여줬다.

Table 2. The parameters of the P2P-SIP Architecture

Parameter	Value
r_s	0.02
r_f	0.02
u_r	1
λ	0.1
c_u	1
p_u	0.5
c_l	0.5
p_l	0
t_u	1
t_l	1.5
h_c	1
P	0.5
N	2^{24}

Table 3. The parameters of the Client-Server Architecture

Parameter	Value
r_s	0.02
r_f	0.02
u_r	1
λ	0.1
c	1
p	0.5
N	2^{24}
P	0.5
h_c	1
t_{intra}	1
t_{inter}	2

Table 4. The Parameter of the Quorum System

Parameter	Value
N	128
P_{h1}	0.25
P_{h2}	0.75
C_{u-cost}	2
C_{home}	1
C_{away}	2

1) 메시지 비율

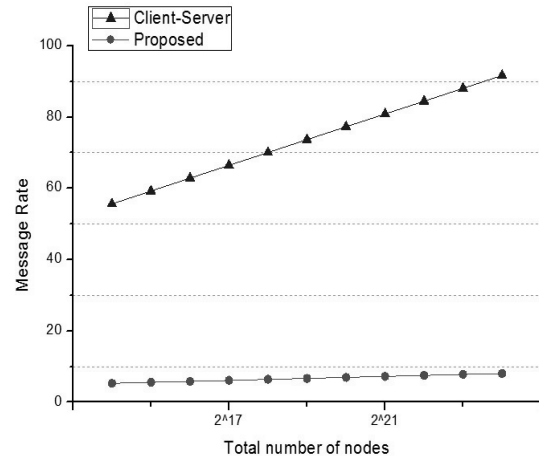


Fig. 12. Message rates versus total number of nodes

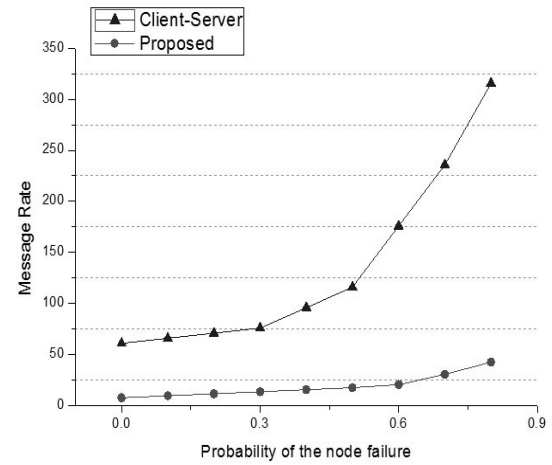


Fig. 13. Message rates versus probability of node failure

2) 평균 홉 수

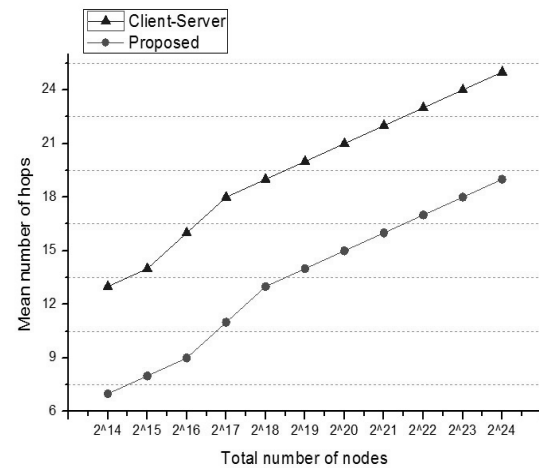


Fig. 14. Mean number of hops versus total number of nodes

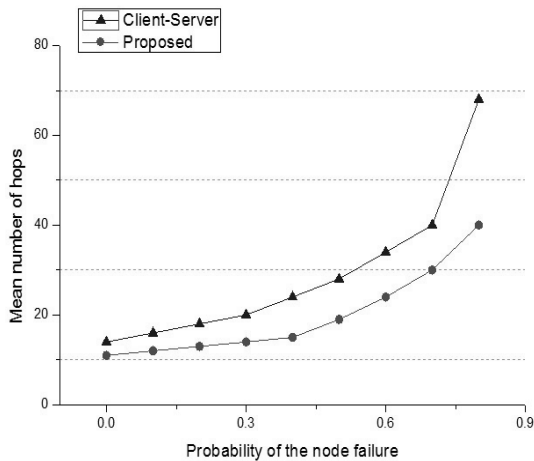


Fig. 15. Mean number of hops versus probability of node failure

Fig. 14와 Fig. 15는 제안하는 P2P-SIP 구조와 클라이언트-서버 구조의 노드 수에 따른 평균 홉 수와 노드 실패 확률에 따른 평균 홉 수를 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이, 노드 수에 따른 평균 홉 수는 클라이언트-서버 구조에 비해 P2P-SIP구조에서 기본적으로 우수한 수치를 보여줬다. 하지만, 노드 수의 증가에 따른 평균 홉 수 증가율은 두 구조가 비슷했다. 노드 실패 확률에 따른 평균 홉 수는 P2P-SIP구조가 클라이언트-서버 구조보다 좀 더 우수한 결과를 보여줬다.

3) 총 비용

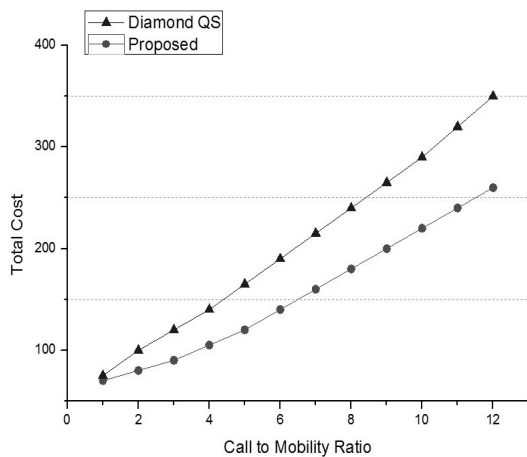


Fig. 16. Total Cost versus Call to Mobility Ratio

Fig. 16은 제안하는 퍼지 논리 기반 구조와 다이아몬드 퀴럼 시스템의 호 이동률에 따른 총 비용에 대해 나타냈다. 제안하는 퍼지 논리 기반 구조는 다이아몬드 퀴럼 시스템 구조에 비해 우수한 결과를 보여줬다. 퍼지 논리 기반의 퀴

럼 크기가 다이아몬드 퀴럼 시스템의 퀴럼 크기보다 상대적으로 작기 때문에 호 이동률이 높아지고 비용 또한 낮게 나타남을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 지능형 홈네트워크에서 퍼지 논리 기반 P2P-SIP 구조를 제안한다. 제안하는 구조는 홈 레벨과 로컬 레벨로 구분한 P2P-SIP 홈네트워크 구조로 설계되어 오버레이 네트워크의 삼각 라우팅 문제를 해결하고 경로 최적화를 수행한다. 또한, 퍼지 논리 기반의 퀴럼 시스템으로 작은 크기의 퀴럼을 적용하여 높은 Read 능력과 가장 작은 최적의 Read 퀴럼 크기로 메시지 비용을 감소시켰다. 지역 중요도를 고려하기 위해 주요 활동이 발생하는 지역의 단말을 High로, 그렇지 않은 단말을 Low로 구분하여 관리하였다. 특히 제안하는 구조는 기존의 클라이언트-서버 구조와 다이아몬드 퀴럼 시스템과 각각 비교하여 매우 우수한 성능의 구조임을 알 수 있었다. 특히 성능 분석 결과, 기존 클라이언트-서버에 비해 낮은 비용으로 홈네트워크 서비스를 구성할 수 있었다. 또한 위치 갱신은 물론, 위치 질의에서도 작은 퀴럼을 사용하여 높은 호 이동률 및 매우 효율적인 구조임을 알 수 있었다. 본 논문을 통해 신규 홈네트워크 사업자에게 효율적이고 낮은 구축 비용으로 홈네트워크 서비스가 가능한 퍼지 논리 기반의 퀴럼 시스템을 적용한 P2P-SIP 구조를 제안한다. 향후 연구과제로는 고려되지 않았던 기존의 다른 P2P기반 구조와의 비교 분석을 통해 평가하는 것이다.

Reference

- [1] KIMR, "2013 Next-generation Home Network / Information Technology Developments and Future Trends in the Consumer Electronics Market".
- [2] L. Garces-Erice, E. Biersack, P. Feler, K. Ross, and G. Urvoy-Keller, "Hierarchical Peer-to-Peer Systems", Proc. Euro-Par Parallel Processing, June, 2004.
- [3] Ada Wai-Chee Fu, Yat Sheung Wong, Man Hon Wong, "Diamond Quorum Consensus for High Capacity and Efficiency in a Replicated Database System", Journal of Distributed and Parallel Databases, Vol.8, No.4, pp.471-492, 2000.
- [4] SeungWon Kim, JongPil Jeong "Design and Performance Analysis of A Novel P2P-SIP Architecture for Network-based Mobility Support in Intelligent Home Networks", KIPS, Computer and Communication Systems, pp.203-302, July, 2013.
- [5] D. Bryan, P. Matthews, E. Shim, D. Willis, and S. Dawkins, "Concepts and Terminology for Peer to Peer SIP", Internet Draft, Internet Eng. Task Force, July, 2008.

- [6] Jong-Youl Lee, Kang-rar Noh, Jun-il Kim, Dong-il Shin, Dong-kyoo Shin, "Design of the homenetwork based in SIP", NIPA, IITA 2002.
- [7] IETF, "IETF related to the future of P2P Internet technology standardization trends", Semtember, 2010.
- [8] Bryan, D., Matthews, P., Shim, E., Willis, D., and S.Dawkins, "Concepts and Terminology for Peer to Peer SIP", draft-ietf-p2psip-concepts-05, July, 2013.
- [9] Hwei-Wen Ferng, Iwan Christanto "A Globally Overlaid Hierarchical P2P-SIP Architecture with Route Optimization", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Vol.22, November, 2011.
- [10] S. Rhea, G. Dennis, R. Timothy, and K. John, "Handling Churn in a DHT," Proc. USENIX Ann. Technical Conf, June, 2004.
- [11] P. Fonseca, R. Rodrigues, A. Gupta, and B. Liskov, "Full-Information Lookups for Peer-to-Peer Overlays," IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, Vol.20, No.9, pp.1339-1351, September, 2009.
- [12] Sun-Jin Oh, "Design and Evaluation of Fuzzy-Logic based Quorum System considering the Gravity of Locality of Mobile in MANETs", IWIT, Vol.8, No.2, pp.9-14, April, 2008.
- [13] Mahmoudi, Belkhir, "Extension of SIP protocol for managing home networks", IEEE Programming and Systems, April, 2011.
- [14] D. Bryan, B. Lowekamp, and C. Jennings, "SOSIMPLE: A Serverless, Standards-Based, P2P SIP Communication System," Proc. IEEE First Int'l Workshop Advanced Architectures and Algorithms for Internet Delivery and Applications (AAA-IDEA '05), Mar., 2005.
- [15] B. Liang, "Performance of multihop latency aware scheduling in delay constrained ad hoc networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul, Korea, May, 2005.



김 승 원

e-mail : kroa@shinsegae.com

2012년~현 재 신세계I&C ITO사업부

POS&결제팀 주임연구원

2012년~현 재 성균관대학교 정보통신

대학원 석사과정

관심분야: 무선 네트워크, P2P, 홈네트워

크, 인공지능, 임베디드 소프

트웨어, 사물인터넷 등



김 문 현

e-mail : mhkim@skku.edu

1978년 서울대학교 전자공학과(공학사)

1980년 KAIST 전자공학과(공학석사)

1988년 미국 University of Southern

California(컴퓨터공학박사)

1988년~현 재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

관심분야: 인공지능, 영상 인식, 기계 학습