

전력선 홈 네트워크를 위한 신호 세기 기반의 자동 주소 할당 기술

황민태[†], 최성수^{**}, 이원태^{***}

요 약

홈 네트워크에 참여하는 노드들에게 네트워크 주소를 자동으로 할당하는 방식은 주소 할당 서버에 의해 유일한 주소를 제공하거나, 혹은 노드 자체적으로 랜덤한 주소를 생성하여 주소 중복 검사를 통해 유일한 주소인 경우에 사용하는 방식으로 나뉜다. 본 논문에서는 주소할당 서버를 이용하는 방식과 노드 자체적으로 생성하는 방식의 단점을 보완할 수 있는 새로운 주소 할당 방식으로서 네트워크에 기 참여하고 있는 노드들 중의 하나로부터 간단한 수식에 의해 유일한 주소를 제공받을 수 있도록 하는 방식을 제안한다. 이 때 신규 참여 노드의 주소 요청 패킷을 가장 강한 신호 세기로 수신하는 노드가 우선적으로 주소를 할당하도록 하여 전력선 기반 홈 네트워크 환경에서 필요로 하는 자동 중계에 활용 가능토록 하였으며, 제안하는 방식은 C# 프로그래밍을 이용한 시뮬레이터 개발을 통해 중복 검사가 불필요한 유일한 주소가 할당됨을 입증하였다.

An Automatic Address Allocation Mechanism based on the Signal Strength for the PLC-based Home Network

Mintae Hwang[†], Sungsoo Choi^{**}, Wontae Lee^{***}

ABSTRACT

We can categorize the network address allocation mechanism into two types. One is to assign a unique network address using the address allocation server and the other is to make a random address by itself and process the DAD(Duplicate Address Detection) procedure. In this paper we suggest a new address allocation mechanism based on the signal strength for the PLC-based home network. As the combined mechanism of two types this mechanism allocates a unique address for the new node from one of the existing nodes with the simple equation and with the priority based on the signal strength from the new node to the existing nodes. We can use this mechanism for the self-healing function when the packet from the source node may not be delivered to the destination node directly. We developed the simulator for our mechanism using the C# programming and verified the network address assigned uniquely based on the signal strength.

Key words: PLC(전력선통신), Home Network(홈 네트워크), Address Allocation(주소 할당), Signal Strength(신호 세기)

1. 서 론

컴퓨터 및 통신 기술의 발전으로 인해 가정 내에

서도 여러 가지 가전 기기들을 유선 혹은 무선으로 연결하여 제어 정보나 데이터를 주고받게 되는 홈 네트워크 기술이 급속도로 발전하고 있다. 하지만 아

※ 교신저자(Corresponding Author): 황민태, 주소: 경남 창원시 사림동 9(641-773), 전화: (055)213-3832, FAX: (055)213-3839, E-mail: mthwang@changwon.ac.kr
접수일: 2008년 3월 26일, 완료일: 2008년 6월 9일

[†] 정회원, 국립창원대학교 정보통신공학과 부교수

^{**} 정회원, 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
(E-mail: sschoi@keri.re.kr)

^{***} 정회원, 한국전기연구원 융합기술연구단 책임연구원
(E-mail: wtlee@keri.re.kr)

직까지는 가정 내에서 고속의 통신 기술을 이용한 응용 분야 개척이 미흡한 탓에 주로 저속의 통신 기술을 이용하는 홈 오토메이션 위주의 홈 네트워크 기술 개발에 국내외 관련 업체들이 주력하고 있는 추세이다.

저속의 홈 네트워크 기술을 활용한 홈 네트워크 응용에는 주로 가정의 기기들에 대한 원격 ON/OFF 제어나 온/습도 조절, 전력/수도/가스 등의 원격 검침, 방법 및 보안 서비스 등에 초점이 맞추어져 있다 [1]. 이러한 저속의 홈 네트워크 응용을 지원하기 위한 하부 전송 기술로는 가정 내에 기 포설된 전력선을 활용하는 전력선 통신(PLC: Powerline Communication)이 중심에 있다 볼 수 있다[2]. 실제로 최근에 건설된 고급 아파트에서는 외국에서 개발된 저속 전력선 모뎀 칩을 이용한 전력선 통신 기능을 통해 생활의 편의를 도모할 수 있는 홈 오토메이션 기능이 제공되고 있음을 알 수 있다.

전력선 통신을 위해 개발된 전력선 모뎀은 하위 계층의 프레임 송수신하는 기능을 갖고 있지만, 이러한 모뎀 칩을 이용해 홈 오토메이션을 위한 응용 기술을 개발하려면 특정한 가전 기기를 구분할 수 있는 네트워크 주소를 필요로 한다. 근거리 통신망(LAN: Local Area Network)에 연결된 PC의 경우에도 마찬가지로 랜 카드가 존재하여 하위 계층 프레임의 송수신 기능을 제공할 수 있지만 인터넷 기반의 응용 서비스를 제공하기 위해서는 네트워크 계층에서 사용될 인터넷 주소(IP: Internet Protocol)를 유일하게 지정해 줘야 하는 것과 마찬가지로이다.

일반적으로 홈 네트워크에 연결되는 가전 기기들이 사용하게 될 네트워크 주소는 전문 네트워크 엔지니어에 의해 수동적으로 네트워크 주소를 설정하는 경우가 대부분이다. 따라서 네트워크 고장이 발생하게 되는 경우 네트워크 전문가의 도움 없이는 네트워크 주소를 재설정하기 어려워진다. 따라서 지능형 홈을 위한 네트워크 환경에서는 이러한 전문가에 의한 수동적인 네트워크 주소 설정이 아닌 자동적으로 가전 기기들에 주소가 할당되는 메커니즘을 필요로 하게 된다.

홈 네트워크에 참여하는 노드들에 네트워크 주소를 자동으로 할당하는 방식은 주소 할당 서버에 의해 유일한 주소를 제공하거나, 혹은 노드 자체적으로 랜덤한 주소를 생성하여 주소 중복 검사를 통해 유일한 주소인 경우에 사용하는 방식으로 나눌 수가 있다[3,4].

본 논문에서는 주소할당 서버를 이용하는 방식과 노드 자체적으로 생성하는 방식의 단점을 보완할 수 있는 새로운 주소 할당 방식으로 네트워크에 기 참여하고 있는 노드들 중의 하나로부터 수식에 의해 유일한 주소를 제공받을 수 있도록 하는 방식을 제안한다. 이 때 신규 참여 노드의 주소 요청 패킷을 가장 강한 신호 세기로 수신하는 노드가 신규 노드에게 주소를 할당하도록 함으로써 전력선 기반 홈 네트워크 환경에서 노이즈 요소의 영향으로 송수신 노드 간에 직접 통신이 불가능한 경우 주소 할당 시에 생성되는 계층 트리 구조를 이용한 자동 증계에 활용 가능토록 하였다.

제안하는 수식 및 신호 세기 기반의 자동 주소 할당 방식은 C# 프로그래밍을 이용한 시뮬레이터 개발을 통해 중복 검사가 불필요한 유일한 주소가 할당됨을 검증하였다.

본 논문의 2장에서는 기존의 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 메커니즘들에 대해 사례 연구를 통해 살펴보고, 3장에서는 이들 주소 할당 메커니즘들의 장단점 분석을 통해 지능형 홈을 위한 주소 할당 기술의 요구사항을 도출하였다. 그리고 4장에서는 이러한 요구사항을 반영하여 제안하는 수식 및 신호 세기 기반의 자동 주소 할당 방식을 소개하고, 5장에서는 시뮬레이터 개발을 통해 유일한 주소가 할당됨을 입증한 결과를 소개하고, 끝으로 6장에서 결론 및 향후 연구를 다룬다.

2. 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 기술 연구 동향

홈 네트워크에 참여하는 노드들에 네트워크 주소를 자동으로 할당하는 방식은 주소 할당 서버에 의해 유일한 주소를 제공하거나, 혹은 노드 자체적으로 랜덤한 주소를 생성하여 주소 중복 검사를 통해 유일한 주소인 경우에 사용하는 방식으로 나눌 수 있다[3,4].

주소 할당 서버에 의해서 주소를 할당하는 대표적인 기술에는 IPv6 상태형(Stateful) 자동주소 할당 방식이 있다[3]. 이 방식은 네트워크 주소 정보를 요청에 따라 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)와 같은 네트워크 프로토콜을 사용하여 각 노드에 제공하는 방식이며, 주소 할당 서버에서 네트워크 주소 정보를 관리하고 있으므로 상태형 설정

방식이라고 한다. 이 방식은 주소 할당에 따른 수작업을 요구하지 않으므로 많은 노드를 가진 대규모 망에서는 적용하기 쉽지만, 동적 할당기능을 수행하는 전용 서버를 두어야만 하므로 홈 네트워크와 같은 소규모 망에서는 적합하지 않다.

노드 자체적으로 주소를 생성하는 방식에는 플레넷의 Plug & Play 기술[5], IEEE 1394에서의 노드 ID 자동 구성 기술[6], IPv6 비상태형(Stateless) 자동주소 할당 기술[3,4], ZigBee에서 노드 주소 할당 기술[7] 등이 있다.

국내에서 저속의 전력선 통신 모델을 개발하고 있는 (주)플레넷에서 제안하고 있는 Plug & Play 기술 [5]에서는 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 기술로서 노드 자체적으로 랜덤한 주소를 생성한 다음 방송형 패킷을 이용해 서브넷(Subnet) 내에서 주소 중복 검사를 통해 유일한 주소를 결정하는 일반적인 노드 자체 생성 주소 할당 메커니즘을 사용하고 있다.

IEEE 1394 네트워크는 데이지 체인(Daisy Chain)형의 버스 토폴로지를 가지며, 네트워크에 노드가 추가되거나 삭제될 경우 버스 리셋(Bus Reset) 기능이 발생해 자동으로 네트워크를 재설정하게 된다[6]. IEEE 1394에서 노드 ID 자동 구성 기능은 노드 초기화 단계, 트리 식별 단계, 그리고 노드 ID 식별 단계의 세 가지 과정을 통해 이루어진다. 버스 리셋이 발생하면 모든 노드는 자신의 연결 상태가 브랜치(Branch) 노드, 리프(Leaf) 노드 혹은 비접속 상태인지 여부만 알 수 있는 노드 초기화 단계를 거친다. 트리 식별 단계에서는 네트워크에 단일 포트만 연결되어 있는 모든 리프 노드와 그렇지 않은 브랜치 노드 간에 Parent_Notify 신호와 Child_Notify 신호를 주고받아 부모-자식 간의 관계를 형성하고, 브랜치 노드들 간에도 동일한 방법으로 부모-자식 간의 관계를 형성하게 된다. 그 결과로서 생성된 트리 구조에서 루트 노드는 자신의 포트 중에서 가장 낮은 번호의 포트에 연결된 노드들로부터 시작하여 차례로 자기 노드 ID를 순차적으로 하나씩 식별하여 전체 네트워크에 방송하도록 함으로써 각 노드들이 유일한 주소를 할당 받을 수 있도록 한다.

IPv6에서 비상태형 주소 자동 할당 방식은 각 노드에서 자체적으로 자신의 인터페이스 ID를 이용해 서브넷 내에서 사용하게 될 로컬 주소를 생성하고

주소 중복 검사를 통해 네트워크 내에서 사용 중인 주소가 아니면 자신의 주소로 확정하여 사용하는 메커니즘이다[3,4]. 이 방식은 네트워크 관리 기능을 제공할 수 없는 소규모 네트워크 환경에서 유용하며, 각 노드가 자신의 네트워크 주소 정보를 독립적으로 설정하게 된다. 따라서 DHCP 서버를 이용한 상태형 주소 할당 방식보다 확장성이 떨어진다. 그리고, 이 방식은 앞서 소개한 플레넷의 Plug & Play 기술에서 주소를 노드 스스로 생성하여 중복 검사를 거치는 방식과 유사하나 플레넷에서는 인터페이스 ID를 이용하는 것이 아니라 각 노드가 랜덤한 주소를 생성한다는 점에서 차이가 있다.

ZigBee 네트워크는 IEEE 802.15.4 센서 네트워크의 PHY와 MAC 계층 위에 ZigBee Alliance에서 새롭게 설계한 네트워크 계층과 트랜스포트 계층을 올려 구성되는 소출력 무선 네트워크이다[7]. 이들 ZigBee 네트워크의 노드들은 PAN(Personal Area Network) 내부에서 센서들 간에 통신할 때 오버헤드를 감소시키고자 16비트의 짧은 네트워크 주소를 사용하여 패킷을 전달하게 된다. ZigBee 노드들에게 16비트 네트워크 주소를 할당하는 방법에는 깊이 우선 알고리즘을 이용한 방법과 너비 우선 알고리즘을 이용한 주소 할당 방법이 있다.

ZigBee 스펙에서 제시하고 있는 깊이 우선 알고리즘을 이용한 방식은 부모 노드가 자식노드에게 수식을 통해 계산한 값을 가지고 순차적으로 할당하는 계층 구조의 주소 할당 방식이다. IEEE 802.15.4 기술의 PHY와 MAC 위에 네트워크 층으로서 IPv6 기술을 탑재하여 차세대 인터넷을 통해 센서 노드들을 제어하고 상태를 파악할 수 있도록 하는 연구인 6LoWPAN에서는 너비 우선 알고리즘을 이용하여 부모 노드가 자식 노드들의 주소 요청에 대해 수식 기반의 짧은 주소를 생성하는 계층 구조의 주소 할당 방식을 이용한다. 이러한 수식 기반의 계층 구조의 주소 할당 방식은 마찬가지로 수식에 의한 패킷의 라우팅을 자동적으로 수행할 수 있는 장점을 갖는다[7-9].

3. 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 기술의 요구사항

3.1 자동 주소 할당 기술의 장단점 비교

앞서 살펴본 기존의 자동 구성 기술들을 주소 할

표 1. 자동 주소 할당 기술의 장단점 비교

| 주소할당유형 | 장 점 | 단 점 | 관련 기술 |
|--------|--|---------------------------------|--------------------------------------|
| 자체 생성 | - 단순함 - 서버기능 불필요 - 노드 추가 및 제거가 독립적 | - 주소 중복 검사 및 응답에 따른 트래픽 증가 | - IPv6 비상태형 - Planet Plug&Play |
| 계층적 할당 | - 주소할당 일관성 제공 - 자동 라우팅 가능 | - 다소 복잡한 방식 - 트리 구조 유지 필요 | - IEEE 1394 - ZigBee - 6LoWPAN |
| 서버 할당 | - 노드 부담이 적음 - 서버넷 관리가 용이함 | - 주소 반환 관리 필요 - 서버 고장시 전체 마비 | - IPv6 상태형 |

당 유형에 따라 세 가지 방식으로 분류하고 각각의 장단점을 표 1과 같이 비교 분석하였다.

먼저 노드에서 자체적으로 주소를 생성하는 방식은 플래닛의 Plug & Play 기술이나 IPv6 비상태형(Stateless) 자동 주소 할당 메커니즘에서 제공하는 주소 할당 유형이다. 노드 자체적으로 주소를 생성한 다음 중복 검사를 통해 주소를 결정하는 방식으로 단순함 뿐만 아니라 별도의 서버가 필요하지 않다는 장점을 지닌다. 또한 신규 노드의 추가나 제거에 대해 기존 참여 노드들은 관여하지 않아도 되므로 독립적인 방식에 해당한다. 하지만 신규 노드 추가 시 주소를 생성한 다음 주소 중복 검사를 위해 방송 패킷을 생성하고 이에 대한 응답을 수집해야 하므로 네트워크 트래픽이 가중된다는 단점이 있다.

계층적 주소 할당 방식은 신규 노드 추가 시 논리적인 트리 구조를 형성해가면서 부모 노드로부터 수식에 의해 자식의 주소를 생성하는 방식이다. ZigBee와 6LoWPAN에서 수식에 의해 계층적으로 주소를 할당하는 방식을 예로 들 수 있으며[7-9], IEEE 1394에서 신규 노드 추가 시 논리적인 트리를 형성해 순차적으로 노드 주소를 생성해 가는 메커니즘도 이 경우에 속한다고 볼 수 있다[6].

계층적 주소 할당 방식은 노드 자체적으로 랜덤한 주소나 인터페이스 ID를 이용한 주소가 생성되는 것과는 달리 단일 수식에 의해 주소가 결정되므로 주소 할당에 일관성이 유지되는 장점을 갖는다. 아울러 이러한 주소 할당 방식은 수식에 의해 수신 노드까지 경로를 찾아갈 수 있는 자동 라우팅 기능에 활용이 가능하다는 장점도 있다.

하지만 노드 자체적으로 주소를 생성하는 방식과는 달리 각 노드에서 복잡한 수식을 관리해야 한다는 단점이 있으며, 노드의 제거 시에는 본 메커니즘의

장점인 수식에 의한 자동 라우팅 기능을 제공할 수 없게 되므로 논리적인 트리 구조를 항상 유지해야 한다는 단점이 있다.

서버에서 주소를 자동으로 할당하는 방식은 IPv6 상태형 주소 할당 방식처럼 DHCP 서버에 의해 신규로 추가되는 노드에 유일한 주소를 하나씩 할당하는 방식이다[3]. 이 방식은 서버에 의해 주소가 할당되어 지므로 각 노드에는 이에 따른 부담을 줄일 수 있으며, 자연스럽게 서버에 의해 서버넷 상의 모든 노드들에 대한 관리가 이루어진다는 장점이 있다. 하지만 서버의 고장은 전체 네트워크에 대한 마비를 가져오게 되며, 할당되지 않은 새로운 주소를 제공하려면 기 발급된 주소를 사용하던 노드가 제거될 때 이를 반환 관리하는 기능을 필요로 할 수도 있다.

3.2 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 기술의 요구사항 분석

앞서 살펴본 기존의 자동 구성 기술들에 대한 장단점 분석 결과를 토대로 하여 노드 수, 네트워크 토폴로지, 제공 서비스, 노드의 이동성, 가전 기기의 동작 주기 및 가전 기기에 대한 오버헤드의 여섯 가지 항목에서 전력선 기반의 홈 네트워크를 위한 자동 구성 기술의 요구사항을 도출하였다.

먼저 노드 수 측면에서 살펴보면 전력선 기반 홈 네트워크 환경에 연결되는 가전 기기의 수를 고려해 볼 때 네트워크 계층에서는 16비트 정도의 짧은 주소를 사용하는 것이 적합하다[9]. 이는 16비트 정도의 주소만으로도 최대 65536개까지의 노드에 주소를 할당할 수 있기 때문이다.

그리고 전력선 기반의 홈 네트워크를 위한 자동 구성 기술은 버스 혹은 트리 토폴로지 기반의 통신을 지원할 수 있어야 할 것이다. 이는 가정 내에 기 포설

된 전력선의 대부분의 토폴로지가 버스 혹은 트리 구조를 가지고 있기 때문이다.

제공 서비스 측면에서 개발하고자 하는 자동 구성 기술은 근본적으로 전력선 통신을 이용한 홈 오토메이션 서비스를 제공할 수 있어야 할 것이다.

홈 네트워크 환경에서는 소형 가전 기기는 이동이 빈번하게 발생할 수 있으므로 이를 고려한 자동 구성 기술이 개발되어야 하며, 아울러 가전 기기의 ON/OFF가 자주 발생하게 되는 점도 새로운 자동 구성 기술을 개발하는 데 요구사항으로 반영되어야 할 것이다.

그리고 홈 네트워크에 연결되는 소형 가전 기기들은 그 기능에 비해 통신 기능에 대한 오버헤드가 크지 않아야 된다. 따라서 새로이 개발될 자동 구성 기술은 소형 가전 기기의 본연의 기능에 오버헤드를 제공하지 않는 수준에서 단순한 기능으로 구현되어야 할 것이다.

4. 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 새로운 자동 주소 할당 메커니즘

본 논문에서는 지금까지 살펴본 자동 구성 기술의 동향 분석과 장단점 분석, 그리고 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 구성 기술의 요구사항 도출 결과를 토대로 하여 이러한 요구사항을 만족시켜 줄 수 있는 새로운 자동 주소 할당 기술을 개발하였다.

새로운 자동 주소 할당 메커니즘 개발의 주된 요구사항은 노드 스스로 자신이 사용할 주소를 생성하되 IPv6 비상태형 주소 할당 방식이나 플레넷에서 제안하는 주소 자동 할당 방식과는 달리 중복 검사가 필요 없는 유일한 주소를 생성할 수 있어야 한다는 것이다. 주소 중복 검사가 필요 없게 되면 네트워크 상에 방송 및 응답 패킷의 수를 줄일 수 있기 때문이다.

이를 위해 본 논문에서 새로이 제안하는 주소 할당 알고리즘은 주소 할당 서버도 아니고 노드 스스로 생성하는 방식도 아닌 네트워크에 이미 참여한 노드들 중의 하나가 간단한 수식을 통해 신규 노드를 위한 유일한 주소를 제공하도록 하는 방식이다. 이때 신규 노드가 방송하는 주소 요청 패킷을 가장 강한 신호로 수신하게 되는 노드가 가장 높은 우선 순위를 가지고서 주소를 생성해 신규 노드에 전달할 수 있도록 하는 메커니즘을 추가로 제안하여 주소 생성 과정

에서 만들어 지는 계층 구조의 주소 트리를 차후에 자동 중계 기능에 활용할 수 있도록 개발하였다.

본 논문에서 제안하는 16비트의 짧은 네트워크 주소 생성 메커니즘은 다음과 같다.

전력선 기반 홈 네트워크에 최초로 참여하는 노드는 자신의 네트워크 주소인 노드 ID를 0으로 생성한다. 최초 참여 노드의 경우 주소 요청 패킷을 네트워크에 방송을 해도 응답을 보내 줄 노드가 존재하지 않으므로 일정 시간동안 응답 패킷이 없는 경우 자신의 주소를 0으로 설정하게 되는 것이다.

이후 전력선 기반 홈 네트워크에 신규로 참여하는 노드는 주소 요청(Address Request) 패킷을 네트워크 상에 방송하게 되고, 이를 수신한 기 참여 노드들 중의 한 노드는 다음과 같은 간단한 수식에 의해 신규 참여 노드를 위한 주소를 생성하여 이를 응답 패킷에 담아 전달하게 된다.

$$C_{ID} = P_{ID} + 4^d * n$$

여기서 주소를 제공하는 노드가 주소 할당 트리 상에서 부모 노드가 되고, 주소를 제공받는 신규 참여 노드는 자식 노드가 되며, 자식 노드의 주소(C_{ID})는 주소를 제공하는 부모 노드의 주소(P_{ID}), 트리 깊이(d), 그리고 주소 할당에 참여한 횟수(n)를 인자로 하여 만들어지게 된다.

그림 1은 제안하는 수식 기반의 주소 할당 메커니즘에 따라 유일한 주소가 할당되는 예를 보여주고 있다.

네트워크에 참여 중인 모든 노드는 신규 노드의 주소 요청 패킷에 대한 응답을 할 수 있으나 최대 4개까지만 응답할 수 있도록 하여 주소 할당에 따르는 노드 부담을 균등하게 유지하도록 하였다. 한 노드가 최대 4개의 자식만 둘 수 있는 규정은 부모 노드

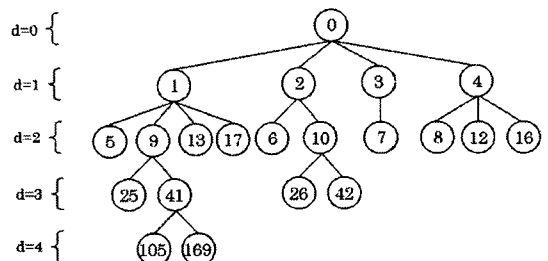


그림 1. 제안하는 중복 검사가 필요 없는 수식 기반의 주소 할당 예

의 트리 깊이에 비례하여 2비트씩 늘어나면서 부모와 자식의 16비트 주소의 하위 비트가 동일하도록 하여 차후에 자동 중계 기능에 활용하게 되는 경우 하위 주소 비트만 보고서도 포워딩할 계층 트리의 가치를 쉽게 찾을 수 있도록 하기 위함이다.

부모 노드로부터 16 비트의 중복 검사가 필요 없는 유일한 주소를 제공받은 신규 노드는 패킷의 주소 필드에 담긴 부모 노드의 주소와 패킷의 정보 필드에 담긴 자신의 주소로부터 자신의 트리 깊이를 알 수 있게 된다. 이 트리 깊이는 자신이 새로운 신규 노드를 위해 주소를 할당하는 데 활용하게 된다.

제안하는 수식 기반의 주소 할당 메커니즘을 통해 네트워크에 참여하는 노드 수가 증가하게 되는 경우 신규 노드에게 다수의 노드가 동시에 주소 할당 패킷을 전달하려고 하는 경쟁 문제가 발생하게 된다. 이러한 경쟁 문제를 해소하기 위한 단순한 방법으로 그림 2에서와 같이 트리 깊이(Depth)와 노드 ID를 이용한 간단한 우선순위 메커니즘을 고려하였다.

이는 신규 노드의 주소 요청 패킷을 수신한 기 참여 노드들이 주소 할당 패킷을 전송하기 위해서는 기본적으로 자신의 트리 깊이(d) * 대기 단위시간(T) 만큼의 시간을 기다리도록 하는 메커니즘이다. 기본 대기 시간은 트리 깊이에 따라 우선순위를 달리 하고서 깊이 값이 적은 노드가 우선적으로 신규 노드에게 주소를 할당할 수 있도록 하는 데 기반을 두고 있다.

트리 깊이에 따른 대기 시간이 끝나기 전에 신규 노드로부터 주소 할당이 완료 되었다는 방송 패킷을 수신하게 되면 이미 자신보다 높은 우선순위의 노드에 의해 신규 노드에 주소가 할당된 경우이므로 주소 할당 과정을 취소하게 된다. 만약 그렇지 않다면 우선순위가 높은 노드들이 이미 4개씩 자식들에게 주소를 할당한 경우라서 자신이 속한 트리 깊이에 해당하는 노드들이 가장 높은 우선순위를 가지는 경우임을 알게 된다. 이때 하나 이상의 노드가 동일 트리 깊이에

에 존재할 수 있으므로 단지 하나의 노드만이 주소 할당에 참여할 수 있도록 하기 위해 경쟁 윈도우(Contention Window)내에서 자신의 ID에 해당하는 미니 타임 슬롯 시간 만큼을 더 기다리도록 한다.

이 과정에서도 마찬가지로 신규 노드로부터 주소 할당이 완료되었다는 방송 패킷을 수신하게 되면 주소 할당 과정을 끝내게 되며, 그렇지 않은 경우 자신이 주소 할당 패킷을 하위 계층으로 전달하여 신규 노드에 주소를 할당하게 된다. 주소를 제공한 부모 노드는 이를 수신하여 자신의 주소로 확인한 자식 노드로부터 확인 응답을 받게 되면 자식 노드에 주소를 제공한 횟수를 유지하는 카운터를 하나 증가시키게 된다. 자식 카운터가 4인 부모 노드는 더 이상 자식 노드에 대한 주소 할당을 할 수가 없다.

트리 깊이와 노드 ID를 이용하는 단순한 우선순위 메커니즘은 그림 3에서 살펴보는 바와 같이 순차적으로 신규 노드에 중복 검사가 필요 없는 유일한 주소를 할당할 수는 있지만 주소를 제공하는 노드와 주소를 제공 받는 노드 간에는 네트워크 상에서 특별한 관계를 형성하지 못함을 알 수 있다. 이는 신규 노드가 네트워크에 참여할 때에 기 참여중인 노드들 중에서 트리 깊이와 노드 ID에 의해 부모가 될 노드가 이미 결정되어 버리기 때문에 주소 할당 결과로서 만들어 지는 트리 구조는 단지 주소 할당의 관계만을 보여주는 트리 구조일 뿐 패킷 라우팅 등의 다른 목적으로 활용이 불가능함을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 네트워크에 기 참여하고 있는 노드들이 신규 노드에게 간단한 수식을 이용해 주소를 할당하는 메커니즘을 그대로 활용하되 주소 할당 패킷의 전송 시점을 결정하기 위한 우선 순위 파라미터로서 노드 ID와 트리 깊이를 이용하는 방법 대신에 새로이 전력선 통신 기반의 홈 네트워크에서 유용한 신호 세기 정보를 이용하는 방법을 새로이

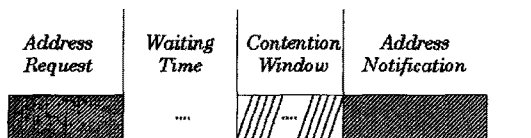


그림 2. 주소 할당 패킷의 중복 해결을 위한 간단한 우선순위 메커니즘

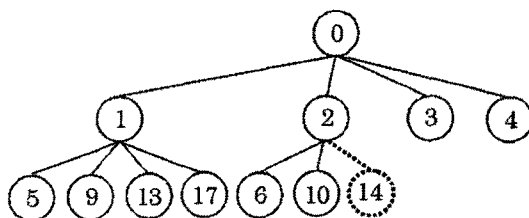


그림 3. 트리 깊이와 노드 ID를 이용한 수식 기반 주소 할당 과정

제안하였다.

제안하는 신호 세기 기반의 자동 주소 할당 메커니즘은 신규 노드의 주소 요청 패킷을 수신하는 기존의 참여 노드들이 수신한 신호의 세기에 따라 응답 패킷을 생성하는 시점을 달리하도록 하여 다수의 노드가 동시에 주소 할당 패킷을 보내려 하는 상황이 발생하지 않도록 한다. 이는 주소 요청 패킷이 강한 신호로 수신되는 노드는 신규 노드와 물리적으로 가까운 위치에 존재함을 알 수 있고, 신호 세기가 약하게 수신되는 노드는 물리적으로 거리가 떨어진 위치에 존재하는 것으로 간주할 수 있기 때문이다.

따라서 주소 요청 패킷의 수신 신호 감도가 우수한 경우에는 짧은 대기 시간 후에 응답 패킷을 전송할 수 있게 되며, 그렇지 않은 경우에는 긴 시간을 기다려야 주소 할당의 기회를 맞이할 수 있다. 대기 시간 동안에 이미 다른 노드에 의한 패킷 전송이 일어나거나 신규 노드로부터 주소 할당이 성공적으로 이루어졌다는 방송 패킷을 수신하게 되면 주소 할당 알고리즘은 종료하게 된다.

전력선 통신 기반의 홈 네트워크에 있어 하위 물리층의 역할을 수행하는 전력선 모뎀은 신규 노드의 주소 요청 방송 패킷을 수신하게 되는 경우 이 패킷을 상위 데이터 링크 층으로 전달함과 동시에 수신한 신호의 세기 정보를 파악해 이를 데이터 링크 층으로 프리미티브와 함께 전달하게 된다. 데이터 링크 층에서는 수신한 패킷은 상위 네트워크 층으로 전달하며, 신호 세기 정보는 매체 접근 제어(MAC: Medium Access Control) 기능을 통해 전송 매체를 사용할 수 있는 매체 접근 시점을 결정하는데 이용하게 된다.

이는 최대 신호 세기에서부터 최저 신호 세기까지 역으로 세분화된 여러 구간 레벨 중에서 수신 신호 세기가 어느 레벨에 해당하는지를 판단해 그 레벨에 해당하는 대기 시간이 지나야 매체 접근 시점이 되는 형태로 구현이 가능하다.

데이터 링크 층에서는 매체 접근 시점이 되었을 때 상위 네트워크 층으로 프리미티브를 전달해 신규 노드의 주소가 담긴 패킷을 내려 보내 줄 것을 요청하게 되며, 이를 수신한 네트워크 층에서는 신규 노드의 주소가 담긴 패킷을 하위 데이터 링크 층을 거쳐 물리 매체를 통해 전달하게 된다.

그림 4는 신호 세기를 이용한 수식 기반의 주소 할당 과정의 예를 보여주고 있다.

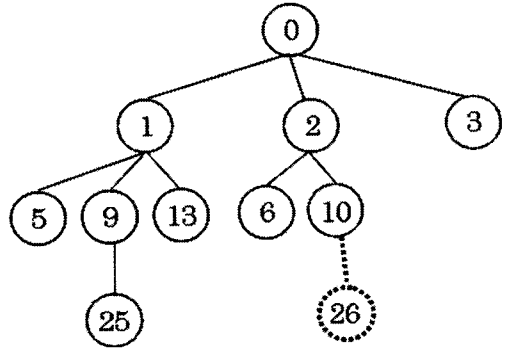


그림 4. 신호 세기를 이용한 수식 기반의 주소 할당 과정

그림에서 부모-자식 간에는 현재 네트워크 상에서 가장 강한 신호 세기로 패킷을 주고받을 수 있는 관계임을 보여주게 된다. 이러한 계층 구조의 트리는 전력선 통신망에서의 노이즈 발생으로 인해 송신 노드에서 수신 노드로 직접 통신이 불가능해지는 경우 자동 중계에 활용할 수 있는 장점이 있다.

예를 들면, 그림 5에서 5번 노드가 6번 노드와 직접 통신이 불가능한 경우 5번 노드는 자신과 가장 강한 신호로 통신을 할 수 있는 1번 노드에게 패킷의 중계를 요청하게 되고, 이를 수신한 1번 노드는 수신 노드인 6번 노드와 직접 통신이 불가능한 경우 다시 부모 노드인 0번 노드에게 패킷을 전달하게 된다. 0번 노드는 수신 노드와 직접 통신을 시도해보고 불가능한 경우 수신 노드 주소와 하위 두 비트가 일치하는 2번 노드에게 패킷 중계를 요청하게 되며, 궁극적으로 2번 노드는 자신과 가장 강한 신호로 패킷을 주고받을 수 있는 6번 노드에게 패킷을 전달하게 된다.

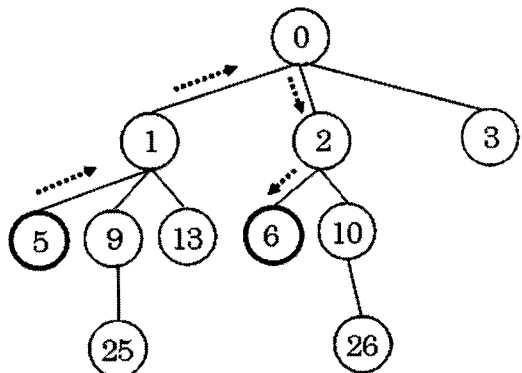


그림 5. 신호 세기 기반의 주소 할당 트리를 이용한 자동 중계

본 논문에서 제안하는 주소 할당 알고리즘은 한 노드가 최대 4개까지의 주소 할당이 가능하도록 규정하였기 때문에 주소 할당 트리에서 부모-자식 간에는 주소의 하위 비트가 일치하는 특성을 유지하게 된다. 따라서 송신 노드의 중계 요청 패킷이 루트 노드까지 전달되면 이를 수신한 루트 노드는 수신 노드가 존재하는 트리의 가지를 선택하기 위해 단지 2비트의 주소 하위 비트만 비교해 보면 된다. 예를 들면, 그림 5에서 루트 노드는 최종 수신 노드 6번의 하위 2비트 주소 부분인 10₂과 일치하는 노드 2번에게 중계 패킷을 전달하기만 하면 된다. 이후 단계가 깊어 지더라도 다음 중계 노드의 트리 깊이 * 2 비트 만큼의 주소 하위 비트를 비교하여 일치하는 경로로 전달하게 되면 수신 노드까지 중계 패킷을 전달할 수 있게 된다.

5. 신호 세기 기반의 자동 주소 할당 메커니즘 성능 평가

5.1 자동 주소 할당 메커니즘의 성능 비교

아래 표 2에 제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 비교 대상에 있는 알고리즘들의 성능 비교 관점에서의 장단점을 제시하였다.

제안하는 자동 주소 할당 메커니즘은 주소 중복검사가 필요없는 짧은 주소(16비트)를 할당하기 위해 신규 노드의 주소 요청 패킷을 수신한 기존의 노드들 중에서 가장 강한 신호 세기로 수신한 노드가 가장 높은 우선 순위를 갖고서 주소를 할당하게 되며, 간

단한 수식만으로 중복 검사가 필요없는 주소를 생성하게 되므로 아주 효율적인 메커니즘으로 여겨진다.

아울러 제안 알고리즘이 주소 자동 할당 과정에서 생성되는 부모-자식간의 관계(트리 구조)는 물리적으로 가까이 위치해 가장 강한 신호로 패킷을 주고 받을 수 있는 관계를 보여주고 있으므로 이를 자동 중계에 직접 활용할 수 있다는 장점을 지닌다.

반면, 플레넷의 Plug & Play 기술은 비록 단순한 알고리즘이라는 장점은 있으나 각 노드에서 랜덤한 주소를 생성해 반드시 중복 검사를 거쳐야 하므로 제안하는 메커니즘에 비해 중복 검사에 따른 방송 패킷 및 응답 패킷의 교환이 추가로 필요하다. 따라서 제안 알고리즘이 플레넷의 주소 할당 메커니즘에 비해 효율적임을 알 수 있다.

그리고 IPv6 비상태형 주소 자동 할당 메커니즘에서는 하위 계층의 인터페이스 ID를 이용하여 네트워크 계층에서 사용할 주소를 생성하게 되며, 주소 중복 검사를 하도록 IETF 표준화 기구의 ZeroConf 워킹그룹에서는 권고하고 있어 제안 알고리즘이 효율적임을 알 수 있다[4]. 무엇보다도 제안 알고리즘은 전력선 기반 홈 네트워크에서 사용될 16비트의 짧은 주소를 생성하는 알고리즘인데 비해 IPv6 비상태형 주소 할당 방식은 128비트의 긴 주소 생성에 대해 표준으로 정해진 기술이라 짧은 주소 생성에는 그대로 적용할 수 없는 단점이 있다.

결론적으로 제안 알고리즘이 플레넷의 주소 자동 할당 메커니즘과 IPv6 비상태형 주소 자동 할당 메커니즘에 비해 비교적 효율적인 자동 주소 할당 메커니즘임을 알 수 있다.

표 2. 자동 주소 할당 메커니즘의 성능 비교

| 기술 분류 | 주소 생성 방식 | 성능 비교와 관련된 장단점 |
|---------------------------------|---------------------------------|---|
| Planet의 Plug & Play 주소 할당 | - 노드 자체 랜덤한 주소 생성 | - 단순하다 - 주소 중복 검사가 반드시 필요함 - 방송/응답 패킷이 많아짐 - 주소 할당의 일관성이 없음 |
| IPv6 비상태형 자동 주소 할당 | - 자신의 인터페이스 ID를 이용해 주소 생성 | - IETF 표준 주소 할당 기술 - 하위 계층의 인터페이스 ID를 필요로 함 - 중복 검사가 필요함(IETF 표준 권고사항) - 짧은 주소 생성에 적합하지 않음 |
| 신호세기를 이용한 수식 기반 주소 할당 (제안 알고리즘) | - 간단한 수식에 의해 부모 노드에서 주소 생성하여 할당 | - 주소 할당에 대한 일관성이 있음 - 중복 검사가 전혀 필요 없음 - 신호 세기를 이용해 트리상의 부모-자식간에 가장 강한 신호로 통신할 수 있는 관계 형성(자동 중계에 직접 활용) - 하위 계층의 신호 세기를 필요로 함 |

5.2 제안하는 자동 주소 할당 메커니즘의 시뮬레이터 개발

본 논문에서 제안하는 자동 주소 할당 메커니즘의 동작 검증을 위해 C# 기반의 서버-클라이언트 프로그래밍을 이용해 시뮬레이터를 개발하였다.

그림 6은 버스 구조의 네트워크상에 노드들이 하나씩 추가되는 경우 트리 깊이에 따른 대기 시간과 노드 ID에 따른 경쟁 윈도우에서의 대기 시간을 달리 하여 신규 노드에 중복 검사가 불필요한 노드 ID가 할당되고 있는 모습을 보여주고 있다.

또한, 순차적 주소 할당 방식을 보완하고 주소 할당 과정에서 생성되는 부모-자식 간의 관계를 자동 중계에 활용하기 위해 새로이 제안한 신호 세기를 이용한 수식 기반의 주소 할당 메커니즘에 대한 시뮬레이터를 개발하였다.

그림 7은 버스 구조의 네트워크상에 노드들이 하나씩 추가되는 경우 신규 노드와 기존 노드들 간에

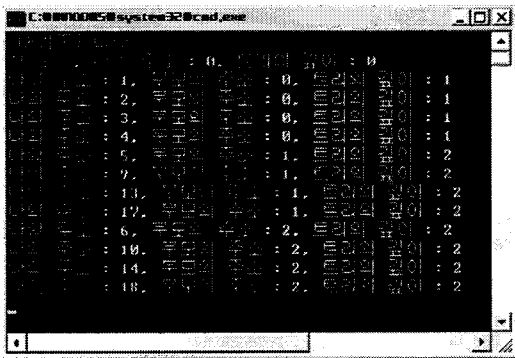


그림 6. 트리 깊이와 노드 ID에 따른 순차적 주소 할당 시뮬레이터

| STEP | ID | PF | D | Depth | SIGNAL | STRENGTH |
|------|----|----|----|-------|--|----------|
| 1 | 01 | 1 | 0 | 1 | | |
| 2 | 11 | 0 | 1 | 1 | 1<<->0 | |
| 3 | 51 | 1 | 2 | 1 | 3<<->0 4<<->1 | |
| 4 | 21 | 0 | 1 | 1 | 0<<->0 4<<->1 7<<->5 | |
| 5 | 91 | 1 | 2 | 1 | 5<<->0 8<<->1 7<<->5 0<<->2 | |
| 6 | 25 | 1 | 3 | 1 | 3<<->0 3<<->1 2<<->5 7<<->2 10<<->9 | |
| 7 | 31 | 0 | 1 | 1 | 10<<->0 5<<->1 5<<->5 6<<->2 10<<->9 4<<->25 | |
| 8 | 09 | 1 | 25 | 4 | 10<<->0 2<<->1 2<<->5 4<<->2 3<<->9 8<<->25 5<<->3 | |
| 9 | 41 | 0 | 1 | 1 | 10<<->0 1<<->1 0<<->5 0<<->2 0<<->9 3<<->25 0<<->3 | |
| 10 | 13 | 1 | 1 | 2 | 0<<->0 6<<->1 6<<->5 1<<->2 6<<->9 7<<->25 0<<->3 | |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5<<->0 3<<->0 | |

그림 7. 신호 세기를 이용한 수식 기반의 주소 할당 시뮬레이터

0부터 10까지의 신호 세기를 랜덤하게 부여한 다음 기존의 각 노드에서 자신의 수신 신호에 반비례하는 대기 시간을 기다려 신규 노드에 수식 기반의 주소를 할당하는 모습을 보여주고 있다.

이러한 시뮬레이터 개발을 통해 본 논문에서 제안하는 신호 세기를 이용한 수식 기반의 주소 할당 방법이 중복 검사가 필요 없는 유일한 주소가 신규 노드에 할당될 수 있음을 검증할 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 기존의 자동 주소 할당 메커니즘들의 동작 원리와 장단점을 비교 분석하고서 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 주소 할당 기술의 요구 사항을 도출하였다. 이러한 요구사항에 기초하여 본 논문에서는 주소할당 서버를 이용하는 방식과 노드 자체적으로 생성하는 방식을 보완할 수 있는 새로운 주소 할당 방식으로서 네트워크에 신규로 참여하는 노드가 기존에 참여하고 있는 노드들 중의 하나로부터 수식에 의한 유일한 주소를 제공받을 수 있도록 하는 방식을 제안하였다.

이 때 신규 참여 노드의 주소 요청 패킷을 가장 강한 신호 세기로 수신하는 노드가 우선적으로 신규 노드에게 주소를 할당하도록 하는 액세스 제어 메커니즘을 추가하여 물리적으로 가까이 위치한 노드만 신규 노드에게 주소 할당 패킷을 전달하도록 하였다. 아울러 제안 메커니즘에 따라 생성되는 부모-자식 간의 관계는 물리적으로 가까이 위치해 가장 강한 신호로 통신을 할 수 있음을 의미하므로, 전력선 기반 홈 네트워크 환경에서 노이즈 요소의 영향으로 송수신 노드 간에 직접 통신이 불가능한 경우에는 제안 메커니즘을 자동 중계에 직접 활용 가능하다는 장점을 갖는다.

제안하는 자동 주소 할당 메커니즘의 성능 분석 결과 제안하는 메커니즘이 주소 중복 검사가 필요 없을 뿐만 아니라 짧은 주소 생성에 있어 기존의 방식에 비해 효율적임을 알 수 있었으며, 시뮬레이터 개발을 통해 신규 노드에 수식 기반의 유일한 네트워크 주소가 할당됨을 검증하였다.

본 논문에서 제안하는 신호 세기를 이용한 수식 기반의 자동 주소 할당 방식은 향후 지능형 홈을 위한 자동 중계나 라우팅 등의 추가적인 기술 개발에

활용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] H. A. Latchman and L. W. Yonge, "Power Line Local Area Networking," *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, pp. 32-33, 2003.

[2] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, pp. 34-40, 2003.

[3] R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture," IETF RFC2373, 1998.

[4] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration," IETF RFC2462, 1998.

[5] 플래닛(주), PLC Plug & Play 운용 기술, <http://www.planetsys.com>, 2004.

[6] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., "P1394a Draft5.0 Standard for a High Performance Serial Bus," Feb. 2000.

[7] ZigBee Specification, ZigBee Document 053474r06 ver.1.0, ZigBee Alliance, 2005.

[8] D.B Jonson, D. A. Maltz, Yih-Chun Hu, and J. G. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR)," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, 2002.

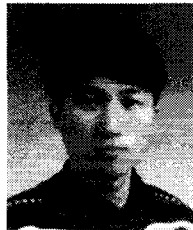
[9] 이혜찬, "계층구조의 센서 네트워크에서 동적 주소할당과 라우팅 알고리즘," 제26회 한국정보처리학회 추계학술발표논문집, 제13권 제2호, pp. 1466-1469, 2006.



황 민 태

1990년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 1992년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 1996년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 박사

1996년 2월~1999년 2월 한국전자통신연구원 표준연구센터 선임연구원
 1999년 3월~2000년 2월 인재대학교 정보컴퓨터공학부 전임강사
 2000년 3월~현재 국립창원대학교 정보통신공학과 부교수
 2004년 3월~2005년 2월 미국 조지아공대(Georgia Tech) 방문교수
 관심분야 : 전력선 통신 프로토콜, 자동 네트워킹, 멀티미디어 메세지전송



최 성 수

1996년 2월 경원대학교 전자공학과 학사
 1998년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2002년 9월 미국 미네소타주립대 EECS 조교 (Pre-Doc. Assist.)

2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2003년 2월~현재 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
 2004년 3월~현재 과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학 겸임교수
 2004년 9월 미국 미네소타주립대 EECS 초빙연구원
 관심분야 : 전력선 통신 기술, 무선 위치 인식 기술, 초광대역 통신기술, SoC 설계



이 원 태

1983년 2월 연세대학교 전기공학과 공학사
 1985년 2월 연세대학교 전기공학과 석사
 2007년 2월 경남대학교 전자공학과 박사

1985년 3월~현재 한국전기연구원 융합기술연구단 책임연구원
 관심분야 : 협대역 전력선통신 기술 및 시스템 구현 기술