

특 집

정보가전용 네트워크프로세서 구조

이강현

조선대학교 전자정보통신공학부교수

I. 서론

급속히 발전하는 정보화 사회에서 정보통신의 중요성은 날로 증대되고 있다. 정보화 사회의 핵심인 컴퓨터, 인터넷은 인간의 삶에 대한 중추적인 역할과 일대 전환기를 마련하고 있으며 새로운 제품에 대한 강한 관심과 욕구를 다양화시키고 있다. 이에 따라 가정에서 사용되는 여러 가전 제품에 인터넷을 연결하여 제어기능과 다양한 콘텐츠를 응용하고자 하는 시도가 일어나고 있다. 이의 기능적 기술의 해결은 네트워킹을 제어하는 라우팅(Routing) 및 QoS(Quality of Service)의 향상을 요구하며, 성능이 뛰어난 네트워크 프로세서를 필요로 한다. 정보가전용 네트워크 프로세서는 정확하고 빠르고 편리한 디지털 가전 정보화 구현을 위하여 인간의 다양한 알고 싶은 욕구를 만족시키고자 가정의 도어폰에 차세대 인터넷 기술인 IPv6를 이용한 TCP/IP 프로토콜 통신으로 음성/영상신호를 스트림 기술을 이용하여 실시간에 가깝게 가정 도어의 외부사정과 가정내의 환경을 접할 수 있게 해준다.

정보가전용 네트워크프로세서(NP: Network Processor)는 중앙처리장치(CPU)가 맡았던 네트워크 연결과 주변기기 제어기능을 분담하는 장치이다. 인터넷이 갈수록 복잡해지면서 네트워크 프로세서의 중요성도 높아지고 있다. 네트워크 프로세서는 데이터 전송과 처리 등 각자 설계 목적에 맞게 동작한다. 라우터나 ATM스위치, 가전용 네트워크프로세서 등은 특정 작업을 위해 만들어진 기계 안에 있는 제품의 핵심 CPU인

샘이다. 웹서버 안에서 암호화된 정보를 다루는 기능을 가진 보안카드도 일종의 네트워크프로세서이다. 네트워크프로세서 설계의 장점은 과거 네트워크프로세서 제품은 한 번 만들면 그만이었지만, 차세대 제품들은 소프트웨어를 이용해 제품 설계 자체를 손쉽게 바꿀 수 있어서 끊임없이 진화하는 인터넷에 맞춰 새로운 기능을 추가할 수 있어 별도의 공장이나 생산라인을 다시 만들 필요가 없다는 장점이 있다.

디지털 가전에서 쓰이는 네트워크프로세서는 디지털 도어폰, 가정용 게임기, 원격의료장비, 원격검침, 가정용 게임기나 TV 등에 탑재되어 네트워크에 접속한 사용자에게 원격에서 손쉽게 제어할 수 있으며, 디지털 도어폰의 경우 외측면 LCD와 스피커를 통하여 방문자와 외출중인 호스트 간에 원격 대화가 가능한 멀티미디어 생활을 실현할 수 있도록 도와주는 핵심 프로세서이다. 현재 이를 위한 요소기술들을 One chip화하는 SoC 설계가 절실히 대두되고 있다. 최근 유, 무선 정보통신망이 연결돼 데이터 송수신이 가능하고 원격제어를 할 수 있는 차세대 가전제품인 인터넷 정보가전에 대한 기술개발이 본격적으로 추진되고 있고 인터넷을 통한 디지털 가전기기용에 대한 원격제어는 정보응용기기, 디지털 이동통신, non-PC 제품 등과 같은 무수한 제품에 적용되어지는 인터넷 연결에 대한 PC-less 하드웨어 솔루션은 매력적인 산업으로 부각되어 지고 있다.

현재 라우터, 스위치 등 네트워크 장비에서 데이터 전송 및 각종 지능형 서비스를 제공할 수 있게 해주는 네트워크프로세서 시장의 본격적인

형성을 예고하고 있다. 네트워크프로세서가 국내에 소개된 지는 불과 2년 정도이지만, 장기적인 서비스 상품 개발과 실질적인 수익 창출을 고려하는 통신업체들이 네트워크 장비 선택시 네트워크프로세서 장착을 요구하고 있어, 시장으로부터의 요구가 강하게 일고 있다는데 성장 배경이 있다. IT 시장이 전 세계적으로 지난해 상당한 불황을 겪었음에도 불구하고 네트워크프로세서 시장은 35% 이상의 성장률을 보이고 있다.

본 고에서는 IT 분야의 새로운 hot issue로 떠오르는 디지털 가전용 네트워크프로세서의 구조에 대하여 살펴보고 시장 및 전망에 대하여 다룬다.

II. 네트워크프로세서 기술시장

네트워크프로세서의 개발 및 시장형성에는 인텔, IBM, 모토로라, TI, 아기어 등이 참여하고 있다. 가장 먼저 이 시장에 눈독을 들이고 접근한 업체는 인텔, 그리고 그 뒤를 이어 IBM, 모토로라, 아기어 등이 속속 제품을 내놓고 국내 개발업체들과 물밑 작업을 벌이고 있다. 인텔은 최근 XScale 마이크로 아키텍처에 기반한 네트워크프로세서 제품군을 대거 출시했다. 이와 함께 네트워크 프로세싱의 혁신적인 기술로 관심을 모으는 하이퍼 태스크 체이닝(Hyper Task Chaining)에 이르기까지 네트워크 프로세싱과 관련한 사업 전략과 기술에서 제품, 향후 로드맵을 공개했다.

인텔이 현재 내놓은 네트워크프로세서는 IXP 425, IXP2400, IXP2800 등. 이들 제품들은 사용자 지원규모에 따라 다르게 적용되는데, IXP 425는 VODSL, CPE 장비 등 음성 프로세싱, 보안 액셀러레이터, 이더넷 기반 기술을 기반으로 하는 제품군에 장착된다. 또 IXP2400은 600 MHz를 지원하고 7Mpps 4계층 프로세싱을 제공하는 2.5G급 액세스 제품에 들어가며, 1.4 GHz를 지원하는 IXP2800은 30Mpps 계층 프로세싱을 지원해 10G 제품을 만드는데 사용되며

IXP2800은 현재 샘플 공급 단계에 있다. 인텔은 현재 이들 네트워크프로세서를 위한 개발 툴 키트를 제공하고 있고, 하반기에는 와이어리스 LAN 전용 칩셋도 내놓을 계획이다. 인텔코리아 커뮤니케이션 그룹에서는 “네트워크프로세서를 통하면 표준 기반의 호환성 있는 시스템 구축이 가능해짐에 따라 확장이 자유롭다”며, “현재 한아시스템이 대형 라우터에, 그리고 코어세스 등이 액세스 장비에 인텔의 네트워크프로세서를 장착하고 있다. 이밖에도 10여 업체들이 개발단계에 있다”고 밝혔다. 한국 IBM은 현재 2종의 저가 네트워크프로세서를 내놓은 상태다. 한국 IBM은 지난해 NP4GS3를 통해 시장에 모습을 드러냈고, 금년에 추가 제품을 출하하였다. SOHO 장비에 적용할 수 있는 NP2G는 초당 2Gbit 속도를 지원하는 OC-12에서 초당 최고 560만 패킷을 처리한다. 한국 IBM의 네트워크프로세서 사업팀에서는 “시스코, 노텔, 알카텔 등이 모두 IBM의 네트워크프로세서를 채택하고 있으며 예전에 고가 장비에서만 지원되던 Firewall, VPN 등 다양한 기능을 로우엔드 장비에도 적용해 나갈 수 있도록 지원한다”고 밝혔다.

아기어도 LG전자와 고성능 멀티미디어 서비스 라우터를 공동 개발하는 작업에 참여하고 있으며 멀티미디어 라우터는 아기어의 스위치 칩셋인 PI (Protocol Independent) 제품군과 네트워크프로세서인 페이로드 플러스 칩을 적용한 제품으로 622~10 Gbps급이다.

모토로라코리아는 파워 PC 등 임베디드프로세서 기술을 접목한 네트워크프로세서와 인수한 C-포트의 네트워크프로세서인 C-5를 액세스 장비 개발업체들을 중심으로 공급중이다. 국산 네트워크 장비를 도입하고 대거 사용자에게 제공할 수 있는 매개체 역할을 하는 KT나 하나로통신, 데이콤 등이 네트워크프로세서를 기반으로 한 네트워크 시스템에 관심을 갖고 있으며, 업계 관계자들은 네트워크프로세서 시장이 올해 제대로 자리 잡을 것으로 내다보고 있다. 업계의 한 관계자는 “망 자체가 IP 기반으로 가고 있으므로, VoIP, VLAN, MPLS 등 QoS가 고려되는 곳은 모두

네트워크프로세서가 필수적이며 기술이 하드웨어적으로 뒷받침되고 있어서 올해 들어 많은 서비스 업체나 개발 업체들이 네트워크프로세서에 관심을 쏟는 이유"라고 한다.

III. 정보가전 네트워크프로세서의 구조

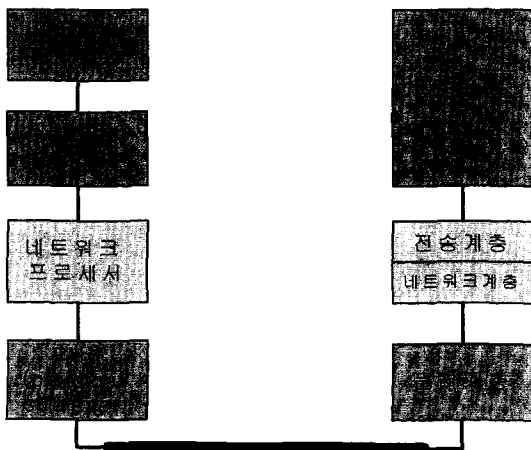
TCP/IP 구조를 바탕으로 한 상호 데이터 교환은 <그림 1>과 같다.

TCP/IP 구조는 기능들을 계층별로 보다 세분화한 것으로, 기능 1을 응용계층, 기능 2를 네트워크계층, 데이터링크계층, 물리계층으로 나누어 구현한 것이다. 기능 3은 전달계층이 담당한다. 응용프로그램 간의 논리적 연결을 담당하는 기능 1은 사용자에게 서비스를 제공하고 사용자가 제공한 정보나 명령을 하위계층으로 전달하는 역할을 수행하고 최상위 계층으로 응용 프로세스(이용자나 응용프로그램 등)가 네트워크 환경에 접근하는 수단을 제공함으로써 응용 프로세스들이 상호간에 유용한 정보교환을 할 수 있는 창구 역할을 담당한다. 이 계층에서는 네트워크 관리기능을 비롯하여 범용 응용서비스 telnet, FTP, SMTP, POP, SNMP, WWW 등의 서비스를

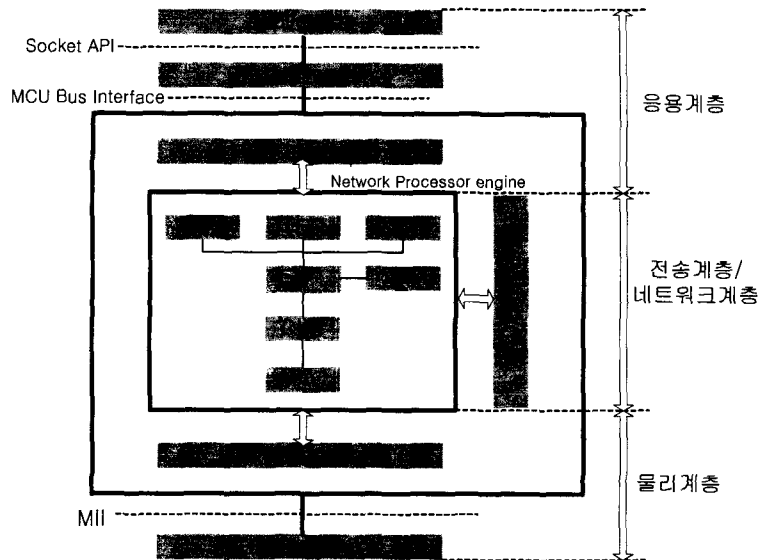
제공한다. 두 시스템 간의 물리적 연결을 담당하는 기능 2는 최하위 계층으로 부터 하드웨어와 연결되는 물리적인 접속을 처리하며 전송매체와 전달방식, 그리고 랜카드 등에 관련된 부분을 처리하기 위한 계층이다. 실제로 네트워크를 통하여 비트 정보를 주고받을 수 있어야 한다. 두 단말기가 서로 다른 네트워크에 접속되어 있으면 ARP를 통해서 단말기 고유의 주소번호를 찾아 비트 정보를 전달할 수 있어야 한다. 기능 1과 기능 2를 연동하는 기능 3은 연결된 두 장치간의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 계층이다. 전달계층은 긴 메시지를 작은 단위의 패킷으로 나누어 주는 것으로 발생하는 에러를 검출해 줌으로써 하위계층에서 보다 효율적으로 데이터를 전송할 수 있도록 해준다. 또 순서에 관계없이 수신된 패킷을 합쳐서 원래의 메시지로 복구시키는 기능을 수행하므로 상위계층에서의 작업이 순조롭게 진행될 수 있도록 해준다. 한편으로는 네트워크에 직접 접속된 하위계층과의 통신채널을 확보하고 감시/제어하여 안전하게 메시지가 교환되도록 한다. 정보가전용에 쓰이는 네트워크프로세서는 기능 2, 3의 기능을 담당하고 있다. 실제 홈가전의 디지털 도어폰에 사용되는 네트워크프로세서의 구조는 <그림 2>와 같다.

Remote에서 디지털 도어폰의 신호를 감지했을 때 영상, 음성신호에서 영상신호는 motion-JPEG으로 압축을 하고, 음성신호는 VoIP를 이용해 압축을 하여 CPU를 통해 이들의 신호를 네트워크프로세서의 MCU 인터페이스를 통해 응용프로그램 간의 논리적 연결과 데이터전송을 직접 담당하는 전달계층으로 전달된다.

전달계층은 Connection-Oriented로 Segment가 상대측까지 제대로 전달되는지 Ack 신호를 주고 받음으로써 데이터 수신여부를 점검한다. 전달계층이 네트워크를 가로지르는 메시지 단위의 정보교환을 책임지므로 통신호스트 사이에는 신뢰성 있는 연결(end-to-end-connection)이 보장된다. 시스템 내에서 전달계층과 상위계층 응용프로그램 사이의 정보교환은 SAP라는 주소(port number)를 통해 이루어진다. 네트워크에



<그림 1> 디지털 도어폰용 TCP/IP 구조



〈그림 2〉 디지털 도어폰용 네트워크프로세서 구조

서는 비트 묶음인 패킷을 단위로 정보가 전송되는데, 네트워크별로 수용할 수 있는 패킷의 크기가 다른 경우가 일반적이다. 따라서 보내는 쪽의 전달계층에서는 메시지를 알맞은 크기의 패킷으로 쪼개고, 다시 받는 쪽의 전달계층에서 이를 취합하여 순서대로 조립한다. 또한 네트워크에 흐르는 메시지량을 조정하고(flow control), 검사합(checksum)방식으로 전송에러를 검출한다. 또한 전달계층에서 처리한 데이터는 네트워크계층으로 전달된다. 컴퓨터와 같은 단말장치들은 통신 전담 프로세서를 통해 패킷교환망에 접속하여 패킷 단위의 정보교환을 한다. 이 통신 전담 프로세서들을 패킷교환망에서의 노드 또는 통신 노드(communication node)라 한다. 네트워크계층은 전달계층에서 내려받은 패킷들을 출발 노드로부터 목적 노드까지 안전하게 전송하는 것을 목표로 한다.

네트워크계층은 경로배정과 네트워크를 통해 한 시스템에서 다른 시스템으로 가는 데이터를 중계하는 데에 관여하고 통신노드 사이의 안전한 패킷 단위의 전송을 위하여 다음의 주요한 세 가지 기능을 수행한다. 첫째는 데이터 프레임에 IP 헤더를 부착함으로써 TCP와 UDP 세그먼트를

보호하는 데이터 은닉(Data Encapsulation)기능, 둘째는 IP datagram을 받아들이면 네트워크 계층에 수신되어지는 데이터를 적절하게 전달 계층에 스폴해주거나 프로토콜 필드를 검사하는 전달계층 디코딩(Transport Layer Decoding)기능, IP Protocol을 이용하여 ICMP sub-protocol를 통해 들어오는 알려지지 않은 포트와 프로토콜, 그리고 IP 주소들과 같은 에러 상태들을 체크하는 제어, 에러 메시지 레포팅(Control and Error Message Reporting)기능이 있다.

데이터링크계층은 인접한 두 시스템(노드)을 이어 주는 전송링크 상에서 패킷을 안전하게 전송하는 것을 목적으로 한다. 데이터링크계층 내의 제어 메커니즘은 프레임이라고 하는 데이터 유닛의 전송을 취급한다. 아래의 물리계층으로부터 제공받는 비트 단위의 전송에서는 비트에러가 발생할 수 있기 때문에 이를 수정하여 보다 신뢰성 있는 비트링크(bit link)를 네트워크계층에 제공해야 한다. 이를 위해 데이터링크 프로토콜은 전송된 패킷의 에러 발생 여부를 확인하고 에러가 생긴 패킷을 재전송하는 기능을 가지며 전송오류를 검출할 수 있는 오류 검출 메커니즘

802.2 Logical link control							LLC	네트워크 계층
802.3 (CSMA/CD)	802.4 token bus	802.5 token ring	802.6 DQDB	802.7 broadband	802.8 fiber	802.9 integrated	MAC	
							PHY	물리계층

<그림 3> IEEE 802시리즈

의 구현에 관여한다.

패킷이 최하위 계층인 물리계층을 통하여 곧바로 전송되도록, 데이터링크계층은 패킷에 데이터 링크계층의 헤더(Header)와 꼬리(Tailer)를 덧붙여 데이터 프레임(Data frame)을 만든다. 헤더와 꼬리의 내용은 네트워크 유형에 따라 다르나 일반적으로 헤더에는 프레임의 시작을 알리는 플래그(Flag)가 포함되고, 꼬리는 에러 검출을 위한 검사합과 패킷의 끝을 알리는 플래그 등으로 구성된다. LAN에서는 모든 노드들이 버스나 링 형태의 전송매체를 공유하므로, 이에 접속하고 그 사용방식을 제어하는 것이 중요하다. 가상의 네트워크를 대상으로 하는 TCP/IP 구조를 직접 적용하기에는 부족한 점이 많으므로 LAN에 대한 보다 구체적인 표준화 양식이 필요하였는데, IEEE(Institute for Electrical and Electronics Engineers)에서는 1985년에 IEEE 802 시리즈를 발표하여 전 세계적인 LAN 표준안으로 자리 잡고 있다.

<그림 3>과 같이, IEEE802시리즈는 TCP/IP 구조의 네트워크계층에 대해 MAC과 LLC(Logical Link Control)프로토콜이 대응된다. MAC 프로토콜은 공유하는 매체로의 접속을 규제하여 모든 노드에 패킷을 전송할 기회를 주며, LLC는 노드간의 패킷 전송을 담당한다. MAC 프로토콜은 LAN형태(topology)와 사용되는 매체의 특성에 맞추어 구현된다.

IEEE 802시리즈는 802.2를 공통된 LLC 프로토콜로 하며, 각 LAN에서 사용되는 물리적 매체와 네트워크 구성 방식에 따라 구분된다. MII(Media Independent Interface)는 PHY와 MAC사이의 IEEE802.3u에 정의된 표준 인터페이스를 제공한다. 물리층과의 인터페이스에 있어서 송신부는 4B→5B Encoder, Scrambler,

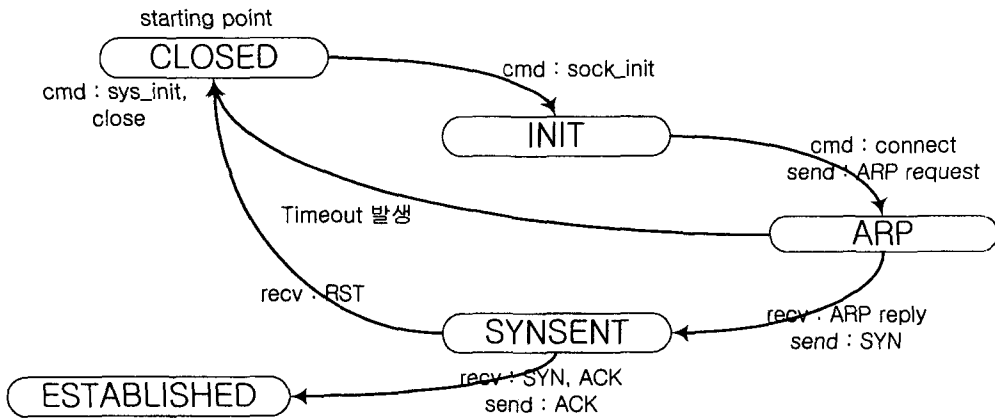
Parallel to Serial, 3level Driver를 통해 물리층으로 전송되고, 수신부는 Adaptive Equalizer, 3level comparator, MLT-3 to NRZI, Serial to Parallel, Descrambler, Data Alignment, 5B→4B Decoder를 통해 물리계층을 통해 위의 역의 과정으로 사용자의 컴퓨터에 전달되어 상대방을 확인할 수 있게 된다.

IV. 네트워크프로세서의 연결설정

일반적으로 네트워크프로세서 연결설정과정은 Connect 또는 Listen 명령에 의해서 내부적으로 처리된다. Connect 명령에 의해 직접적으로 SYN 패킷을 보내는 것을 Active open이라고 하고, Listen command에 의해 전달자로부터 SYN 패킷수신을 기다리는 것을 passive open이라고 한다.

1. Active open

<그림 4>는 Active open이었을 때 클라이언트 연결설정 과정을 나타낸 것이다. 각각의 상태는 응답 채널의 소켓 상태 레지스터를 통해 확인할 수 있다. 시작점에서 채널은 sys_init 또는 close 명령을 실행함으로써 초기화 되며, 채널 안에서 사용될 source port 번호를 설정하고 sock_init 명령을 실행함으로써 채널을 활성화시킨다. 연결설정을 하기 위해서 MCU는 목적지 IP, 목적지 port 번호를 설정하고 connect 명령을 실행한다. 또한 물리적 네트워크 주소를 알기 위해 ARP request packet을 전송한다. ARP 응답 패킷이 상대방으로부터 수신되었을 때 SYN-SENT 상태로 전환되고 SYN 패킷을 전송한다.



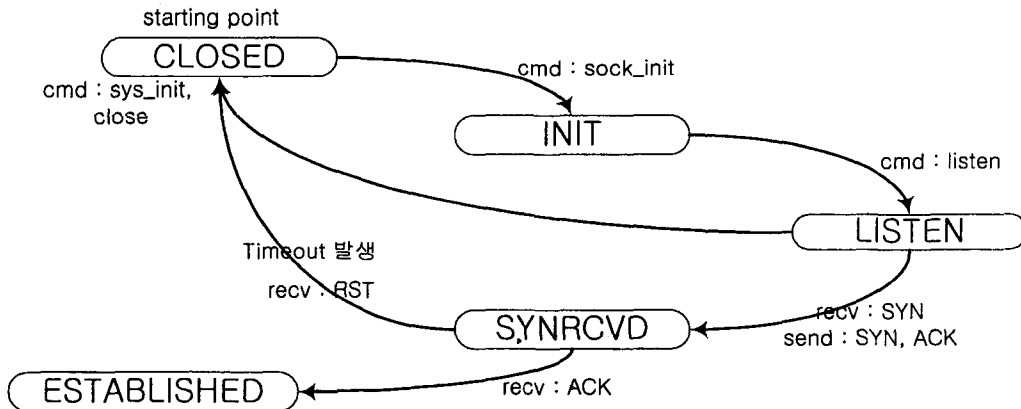
<그림 4> Active open일 때 연결설정

수신자로부터 응답이 없을 경우, 재전송 과정이 이루어지고, 지정된 timeout 시간에 응답이 없으면 CLOSED 상태로 전환된다. SYNSENT 상태에서 전송계층은 SYN packet을 전송하고 수신자로부터 SYN, ACK 패킷을 수신하기 위해 기다린다. SYN, ACK 패킷이 수신되면, ACK 패킷을 전송하고 연결설정 과정은 끝나고 ESTABLISHED 상태로 전환된다. 수신자로부터 SYN, ACK 패킷이 수신자로부터 응답이 없으면, SYN 패킷을 보내 재전송이 이루어지고 할당된 timeout 시간 동안 응답이 없으면 CLOSED 상태로 전환된다. 또한 수신자가 passive mode

로 대기하고 있지 않다면 RST 패킷을 보내어 CLOSED 상태로 전환된다.

2. Passive open

<그림 5>는 Passive open이었을 때 서버 연결설정 과정을 나타낸 것이다. Listen명령에 의한 클라이언트로부터 연결설정을 기다리고 있다가 클라이언트로부터 요청이 받아들여지면 연결이 확립된다. 채널은 Active open일 때와 마찬가지로 CLOSED 상태에서 sys_init 또는 close 명령을 실행함으로써 초기화 되어지고, INIT 상태에서 채널에 사용되어질 source port 번호를



<그림 5> Passive open일 때 연결설정

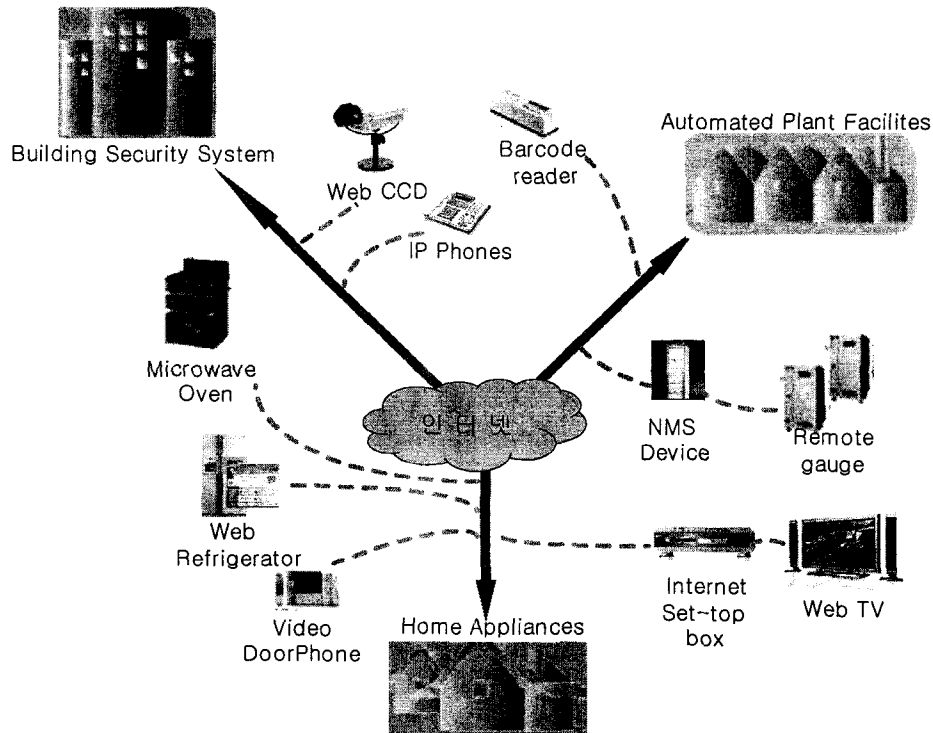
설정하고 sock_init 명령을 실행함으로써 채널을 활성화시킨다. LISTEN 상태에서 클라이언트로부터 연결요청을 기다리고, SYN 패킷이 클라이언트로부터 수신되어질 때, SYN, ACK 패킷은 전송되어지고 SYNRCVD 상태로 전환된다. SYNRCVD 상태에서 SYN, ACK 패킷은 전송되고 클라이언트로부터 ACK 신호를 기다린다. 클라이언트로부터 응답을 수신하면 ESTABLISHED 상태로 전환된다. 만약 응답이 없을 경우, SYN, ACK 패킷은 재전송 되고 timeout이 발생한 후 CLOSED 상태로 전환된다.

네트워크프로세서의 연결설정과정과 같이 TCP 연결해제 과정 또한 three-way 핸드셰이킹 방법을 사용하며, 애플리케이션으로부터 close 명령을 수신 후에 FIN 패킷을 보내는 방법을 Active close라 부르고, 원격지로부터 FIN 패킷을 수신 후에 연결 해제시키는 방법을 Passive close라 부른다.

V. 정보가전에서의 네트워크프로세서 전망

현재까지 TCP/IP구조에서 응용계층은 소프트웨어적인 구현이 가능하고 전송계층, 네트워크계층, 데이터링크계층을 타겟으로 네트워크프로세서의 구조설계가 이루어지며, 물리계층과의 인터페이스를 해주는 PHY(Physical Sublayer) chip 등이 나와 있다.

그러나 현재까지 MCU, 네트워크프로세서, PHY(Physical Sublayer) chip이 독립적으로 구동되어 상호 인터페이스를 통하여 동작이 이루어졌으나, 앞으로는 <그림 6>과 같은 마이크로웨이브 오븐, 인터넷 냉장고, 웹 TV, 비디오폰, 웹 뮤직 플레이어, IP Phones, 인터넷 셋탑 박스, 웹 PDA, 웹 터미널 등의 정보가전의 각각의 특성에 맞게 TCP/IP 모형을 원칩화 하여 가전기기 내에 IP와 MCU가 탑재되어 하나의 독립 PC의



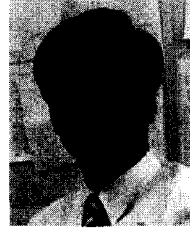
<그림 6> 정보가전에서의 네트워크프로세서

역할을 수행하여 인터넷망을 통해 원격에서 신뢰성이 보장된 데이터를 웹으로 원격제어 할 수 있으며, 산업에서는 웹 카메라, 웹 CCD, 원격접속과 원격 컨트롤, 원격 진료장비, 공장자동화, POS (Barcode Reader, Scanner), Smart card reader 등의 원격제어에 많이 이용될 수 있다. 또한 인터넷이 전 세계적으로 급속히 확대되면서 인터넷 사용자의 수는 기하급수적으로 증가하고 있어서 기존의 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv4에서 지원하는 인터넷 주소공간은 얼마 가지 않아 고갈될 것으로 예상되고 정보가전에서의 독립 IP를 부여하기에는 인터넷 주소공간이 턱없이 부족하므로 차세대 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv6로의 전이가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Gary R. Wright, W. Richard Stevens, "TCP/IP Illustrated, The Implementation," Vol. 2, July 2000
- [2] http://www.wiznet.co.kr/e_i2chip/e_pro_eva.htm
- [3] <http://my.netian.com/~ad9152/favorite19.htm>
- [4] 임준서, "네트워크프로세서의 기술 동향," 전자공학회지, 제28권 제10호, 2001. 10
- [5] Terry Slattery and Bill Burton, "Advanced IP Routing In Cisco Networks," Second Edition, 2000.
- [6] James Martin with Joe Leben, "TCP/IP Networking," 1998. 1
- [7] 차동완, 정용주, 윤문길, "인터넷 기술세계," 2001. 11.
- [8] Jon Crowcroft and Iain Phillips, "TCP/IP and Linux Protocol Implementation," 2002.

저 자 소 개



李康鉉

1977년 2월 조선대학교 전자공학과 공학사, 1981년 8월 조선대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 1991년 2월 아주대학교 대학원 전자공학과 공학박사, 1991년~1994년: 미 스탠포드대 CRC Co-working staff, 1996년: 호주 시드니대학 및 울릉공대학 객원교수, 2001년: 대한전자공학회 멀티미디어 연구회 전문위원장, 2002년: 영국 런던대학 객원교수, <주관심 분야: 미디어 및 네트워크프로세서 설계, SoC/IP 개발, 정보가전, 인터넷컴퓨팅>