JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 6 : 1121~1126 Jun. 2017

사물인터넷지원 스마트게이트웨이의 VPN 터널링 실시간 속도제어 방법

양승의[1] · 강인식[2] · 고병오[3] · 정회경[1*]

A Realtime Traffic Shaping Method for VPN Tunneling on Smart Gateway Supporting IoT

Seungeui Yang[1]· Inshik Kang[2]· Byungoh Goh[3]· Hoekyung Jung[1*]

[1]Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea
[2]Korea University of Media Arts, 312, Daehak-gil, Sejong, Korea
[3]Department of Computer Education, Gongju National University of Education, Gongju 32553, Korea

요 약

최근 스마트 게이트웨이의 중요성이 커지고 있다. 유무선 공유기와 라우터 같은 네트워크 기능이 복합 내재되어 있다. 사물인터넷 시장이 확대되면서 네트워크 안정성과 보안문제가 발생했고 이러한 보안 문제를 해결할 방법 중 하나로 VPN 기술이 제시 되었다. 회선품질이 나쁜 SOHO 환경에서 VPN 구현을 위해서는 효율적인 설계가 필요하다. 본 논문에서는 OpenWRT기반으로 개발한 사물인터넷 지원 스마트 게이트웨이에서 VPN 터널링의 구현방법과 인터넷 회선 상황에 따른 실시간 트래픽 쉐이핑 방법에 대해 개념 및 원리를 제시하며 이에 대한 구현 및 측정한 성능 지표를 제시한다.

ABSTRACT

Recently, the importance of smart gateways that link these with the big data and the development of the Internet of things is getting bigger. The smart gateway includes a network function such as a router and a router, and a sensor network function that links various objects such as a sensor. As the internet market has expanded, network stability and security problems have arisen and VPN technology has been proposed as one of the ways to solve these security problems. Efficient design is needed to implement VPN in low-end smart gateway and SOHO-level Internet environment with poor line quality. In this paper, we propose the concept and principle of VPN tunneling implementation and real - time traffic shaping method according to internet line condition in the Smart Gateway that supports IOT developed based on OpenWRT, the implementation and measured performance indicators are presented.

키워드 : 게이트웨이, 라우터, 사물인터넷, 트래픽쉐이핑, VPN

Key word : Gateway, IoT, Router, Traffic Shaping, VPN

Received 17 April 2017, **Revised** 20 April 2017, **Accepted** 08 May 2017

* **Corresponding Author** Hoekyung Jung(E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)
Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.6.1121 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 사물인터넷(IoT)에 대한 기술은 국내 기업 뿐 아니라 해외 Google, Intel, IBM, CISCO, Amazon 등에서 선도적으로 투자를 확대하고 있다. 소재분야인 센서 제어부터 네트워크 분야 그리고 빅데이터, 클라우드 분야까지 광범위한 분야의 기업들이 관련 기술 개발에 힘을 쏟고 있다.

본 논문에서는 센서 제어 모듈의 표준 플랫폼과 이를 연동시킬 수 있는 네트워크 장비인 스마트 게이트웨이의 표준 플랫폼을 각각 아두이노와 OpenWRT를 기반으로 구현하였다. 센서 제어 부분은 유무선 통신지원을 위해서 블루투스, RF433, 지그비, LoRa를 구현하였고, 스마트게이트웨이는 이러한 센서 제어 연동과 네트워크 기술 그리고 원격지에서 안전하게 접근할 수 있도록 VPN 기술을 적용하여 구현하였다. 여기에 본 논문에서 강조하는 공유기 수준의 저사양의 타겟에 효율적인 VPN 터널링 기술과 인터넷 회선품질의 변화가 심한 환경에서 실시간에 트래픽을 제어하는 방법을 제시하여 원격지에서 VPN을 통해 안전하게 댁내의 센서 제어가 가능하도록 한다.

본 연구는 참고문헌 6의 후속 연구로 VPN터널링에 대한 실시간 트래픽 쉐이핑 알고리즘을 발전시킨 것이다.

Ⅱ. 센서 제어 및 게이트웨이 구현

이 장은 아두이노 기반의 센서 제어 모듈 구현과 OpenWRT 기반의 스마트 게이트웨이 플랫폼 구축 단계를 개관하고, 이의 연동 및 VPN 시스템 구축을 위한 준비 과정을 기술한다.

2.1. 센서 제어 모듈 구현

아두이노 기반에 각종 센서모듈을 구현하고 이를 BLE, RF433, Zigbee, LoRa 등의 무선통신으로 연동이 가능하도록 하였다. 센서 제어 모듈은 댁내에 존재할 수 있는 다양한 가전 제품 및 센서 제어를 모의하기 위해서 10여종의 센서 제어 기능을 아두이노 UNO, NANO, MEGA 그리고 라즈베리파이 플랫폼 까지 다양하게 적용하였다. 또한 무선통신 방법도 Bluetooth부터 RF433, Zigbee, LoRa 까지 대부분의 센서 네트워크를 지원하도록 하였다. 이렇게 구현된 모듈들은 게이트웨이와 연동되어 동작할 수 있도록 한다.

2.2. OpenWRT 기반 스마트 게이트웨이 구현

스마트 게이트웨이는 앞에서 구현한 센서 제어 모듈을 연동하고 이에 대해 VPN을 통해 원격지에서 접근 가능하도록 하는 네트워크 및 보안 기능을 구현해야 한다. 타겟 하드웨어 플랫폼은 가격대비 성능이 우수한 3종(MT7621, MT7628AN, QCA9558+9880)을 선택하였고, 여기에 OpenWRT 기반의 최신 소프트웨어 플랫폼을 각 타겟에 포팅하여 기종 간 상호 운용이 가능하도록 하였다.

2.2.1. OpenWRT 타겟 하드웨어 플랫폼 구현

스마트 게이트웨이로 개발을 하려면 기본적으로 VPN 등 네트워크 게이트웨이구현이 가능해야 하고 여기에 추가로 센서 네트워크 지원을 위하여 BLE4.0, Bluez 그리고 이와 호환되는 node.js 구현이 가능해야 한다. 또한 커널 스펙으로는 FTDI, EHCI, OHCI, UHCI, UVC, Bluetooth 프로토콜 스택 지원이 되어야 하는데 이는 3종 모두 지원하는데 문제가 없다[1].

2.2.2. VPN 프로토콜 스택 구현

상기 OpenWRT 커널설정에서 다중큐잉 커널설정과 VPN을 위한 터널링 구현이 우선되어야 한다. 여기에 OpenWRT에서 컴파일이 가능한 VPN패키지 중에서 가장 많이 알려진 OpenVPN으로 구현하였다. OpenVPN은 VPN기술을 지원하는 대표적인 오픈소스 프로그램으로 VPN에 필요한 요소인 암호화, 인증, 네트워킹, 보안 등을 모두 지원하며 새로운 기술 적용이 가능하도록 확장성까지 지원해 준다. OpenWRT를 포함한 대부분의 Linux는 물론 Windows, Unix, iOS, 안드로이드 등 현존하는 대부분의 OS를 지원한다[2].

VPN 터널링 기술은 L2TP, PPTP등 네트워크 계층2에서 구현하는 방법과 IPSec , SSL등 계층3에서 구현하는 방법이 있다. 각각의 방법에 장단점이 있으나 현재는 커널 수정 없이 구현이 가능하며, 이식성 및 확장성이 뛰어난 SSL 방법을 많이 활용하고 있다. 본 논문에서는 이전 논문에서 구현경험이 있는 SSL방법을 적용하였다. 하지만 Chaos Calmer로 업그레이드 되면서 관

련 기술도 모두 다시 구현을 하였으며, 성능도 튜닝업 하였다[3,4].

2.2.3. IoT 연동을 위한 FTDI, EHCI, UVC, Bluetooth 프로토콜 스택 구현

IoT 연동을 위해서는 스마트 게이트웨이 커널 및 프로토콜 레이어에서 관련 통신 프로토콜을 지원해야 한다. 이 중에서 USB 시리얼 통신을 위한 FTDI, EHCI지원을 해야 하고, IP카메라 지원을 위해서 UVC를 지원해야 한다. 또한 블루투스 통신을 지원하기 위해 관련 커널 모듈을 구현해야 한다. 그림 1은 이를 위한 커널 컴파일 정보를 보여주고 있다. 여기에 추가로 mjpg-streamer나 bluez-libs, bluez-utils 등 패키지를 컴파일하면 기본적인 프로그램 개발 환경이 준비가 된 것이다.

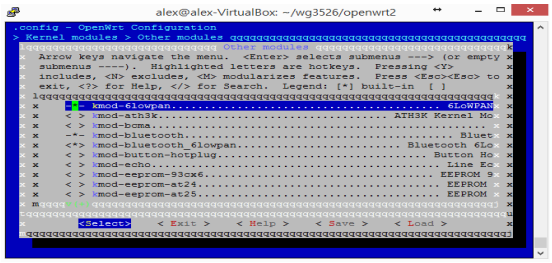

Fig. 1 Serial communication kernel modules such as FTDI

Ⅲ. VPN 터널링 구현

이 장은 VPN 터널링 구축 과정을 살펴본다. 이 장에서 구축된 VPN 터널링은 다음 장에서 실시간 트래픽 쉐이핑 시스템을 구현하는데 사용된다.

3.1. 원격지에서 VPN을 통한 센서 제어 가상화

그림 2처럼 원격지에서 안전하게 VPN을 이용하여 사무실의 네트워크에 동일한 네트워크처럼 가상화로 접속하여 센서 네트워크 장비들에 양방향으로 접속이 가능하도록 한다[5,6].

구현된 VPN 터널링은 그림 2처럼 원격지의 PC나 스마트 폰 화면을 통해서 사무실의 센서 네트워크 장치 등을 웹으로 접속하여 제어하고 모니터링 할 수 있다. 카메라를 보며 센서 네트워크 장치들이 마치 바로 옆에 있는 것처럼 안전하게 제어가 가능하다.

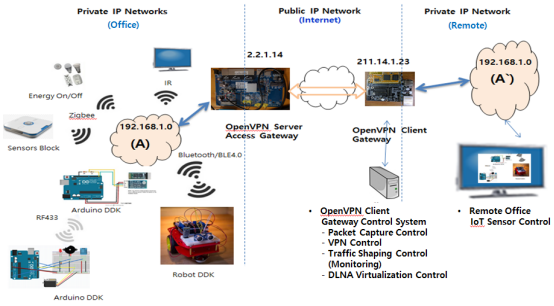

Fig. 2 Sensor Control Visualization

3.2. VPN 터널링

VPN 터널링을 개통하기 위해서는 다음의 절차에 따라 구성하였다.

- 암호화 키 생성: easy-rsa

```
#keys Gen.
root@OpenWrt:/etc/easy-rsa/keys# ls
01.pem      client.csr      index.txt.attr.old  server.csr
02.pem      client.key      index.txt.old       server.key
ca.crt      dh1024.pem      serial
ca.key      index.txt       serial.old
client.crt  index.txt.attr  server.crt
```

- OpenVPN Server Access Gateway

```
#VPN config
'port' '1194'
'proto' 'udp'
'dev' 'tap0'
'ca' '/etc/easy-rsa/keys/ca.crt'
'cert' '/etc/easy-rsa/keys/server.crt'
'key' '/etc/easy-rsa/keys/server.key'
'dh' '/etc/easy-rsa/keys/dh1024.pem'
'cipher' 'BF-CBC'
--
```

- OpenVPN Client Gateway

```
#VPN Config
client
tls-client
dev tap0
proto udp
remote 192.168.1.4 1194 # Change to your router's  IP
resolv-retry infinite
nobind
ca ca.crt
cert client.crt
key client.key
dh dh1024.pem
comp-lzo
cipher BF-CBC
persist-tun
persist-key
verb 3
```

- 지원 터널링 알고리즘

```
#ciphers
DES-CFB 64 bit default key (fixed) (TLS client/server mode)
DES-CBC 64 bit default key (fixed)
RC2-CBC 128 bit default key (variable)
RC2-CFB 128 bit default key (variable) (TLS client/server mode)
.....
BF-CBC 128 bit default key (variable)
BF-CFB 128 bit default key (variable) (TLS client/server mode)
BF-OFB 128 bit default key (variable) (TLS client/server mode)
......about  60 kinds.......
```

원격지에 있는 서로 다른 네트워크를 가상화하여 VPN으로 연결하는 방법은 라우팅 방법, 브릿지 방법이 있는데 여기서는 모두 구현을 하였다. 따라서 원하는 네트워크 구성 방식으로 구축이 가능하다. 그림 2의 가운데 VPN터널링 부분이 4장에서 구현한 알고리즘이 적용된 모듈이다.

Ⅳ. 실시간 트래픽 쉐이핑

다중큐잉을 적용한 트래픽 쉐이핑은 단일 큐잉의 경우와 비교하여 많은 장점이 있는 것이 사실이다. 이에 대한 성능 비교는 이미 이전 연구에서 제시 되었다[7]. 여기서는 사물인터넷을 지원하는 스마트 게이트웨이에서 어떤 방법으로 실시간에 트래픽 부하를 계산할 것인가와 계산된 식에 의거 어떻게 트래픽 쉐이핑을 적용할 것인가 하는 방안을 제시하고자 한다.

4.1. 실시간 트래픽 부하 계산

인터넷을 통해 연결된 VPN 터널은 멀티 홉 라우팅 경로 상에 시시각각 빠르게 변화하는 트래픽 상황 때문에 다양한 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 일차적으로 앞서 제안한 다중큐잉 기술과 더불어 실시간에 트래픽 부하를 계산하여 반영할 수 있도록 한다. 트래픽 부하 계산에는 다음의 요소가 반영된다.

4.1.1. CPU부하량 계산

- VPN 터널링 프로세스: /proc/<PID>/stat 정보

```
utime   user   mode   jiffies
stime   kernel mode  jiffies
```

- CPU 사용량정보: /proc/stat

```
        user            system       idle
cpu 101100  9011 125052 1414111089 ....
```

/proc/stat 에서 시스템 전체 CPU 사용시간과 /proc/<PID>/stat 의 openvpn 터널링 데몬의 사용시간을 일정시간(1초~10초) 간격으로 계산하여 openvpn 터널링 데몬의 부하량을 계산한다.

user_util = 100 * (utime_after - utime_before) / (time_total_after - time_total_before);
sys_util = 100 * (stime_after - stime_before) / (time_total_after - time_total_before);

4.1.2. 패킷 DROP 율 계산

- #ifconfig tap0

```
RX packets:64391 errors:0 dropped:34 overruns:0 frame:0
TX packets:71131 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
```

openvpn 터널링 디바이스(tap0)의 패킷정보를 일정시간 (1초 ~ 10초) 간격으로 계산하여 패킷 DROP율을 계산한다.

rx_drop_rate=100*(rx_drop_after - rx_drop_before) / (rx_pkt_tot_after - rx_pkt_tot_before);
tx_drop_rate=100*(tx_drop_after - tx_drop_before) / (tx_pkt_tot_after - tx_pkt_tot_before);

4.1.3. 다중큐잉에서 큐잉당 트래픽 계산

```
.............
qdisc sfq 21: parent 1:21 limit 127p quantum 1514b depth 127 divisor 1024 perturb 10sec
 Sent 1645376752 bytes 11311964 pkt (dropped 543, overlimits 0 requeues 0)
 backlog 0b 0p requeues 0
qdisc sfq 22: parent 1:22 limit 127p quantum 1514b depth 127 divisor 1024 perturb 10sec
 Sent 1025164750 bytes 1463918 pkt (dropped 1670, overlimits 0 requeues 0)
 backlog 0b 0p requeues 0
.............
```

다중큐잉에서 큐잉 별로 패킷량, DROP량을 계산하여 트래픽 유발 큐잉을 찾아서 해당 트래픽에 대하여 우선순위, 속도를 최적화 할 수 있도록 한다.

queue_load=select_queue_load_prio(&sfq, &cbq, &htb);

4.2. 실시간 트래픽 쉐이핑

실시간 트래픽 쉐이핑은 다음과 같다. 별도의 쓰레드로 동작하며 매(1~10초) 마다 CPU 부하량과 패킷 DROP 그리고 부하가 발생하는 큐를 계산하여 상황에 맞는 트래픽 쉐이핑 알고리즘을 적용한다.

```
void *cpu_net_check(void *data) {
   while(1) {
    openvpn_load = check_openvpn_load() ;
    drop_rate = check_drop_rate() ;
    queue_load = check_queue_load();
    pthread_mutex_lock(&m_lock);
    traffic_shaping( openvpn_load, drop_rate, queue_load ) ;
    pthread_mutex_unlock(&m_lock);
   sleep(5) ;
   }
}
```

4.3. 성능 분석

본 연구의 성능은 2가지로 생각해 볼 수 있다. 우선 정량적인 성능 향상으로 커널 튜닝 및 VPN 터널링 알고리즘 최적화를 통해서 표 1과 같이 동급 H/W에 비교하여 3배 이상의 성능 향상을 확인할 수 있다. 두 번째로는 정성적인 성능 향상이다. 실시간 네트워크 상황에 따라 다중큐잉에 적용되는 우선순위와 속도를 큐잉별(즉 서비스 별)로 조절하여 우선순위에 해당하는 서비스에 더 많이 할당하는 방식으로 하여 효율적인 속도 분배가 가능한데 있다.

Table. 1 Performance Analysis

	Results	Equivalent H / W	Dedicated VPN
VPN Tunneling Speed	25~33Mb	5~10Mb	30-100Mb
VPN Tunneling Method	SSL	SSL	IPSec
VPN Support Method	G2G, G2C	G2C	G2G
Internet Line	Normal	Normal	Dedicated Line
IDS, IPS	O	X	O
Traffic Shaping	Multi-Queue, Real Time	Unsupport-ed (QoS)	Single-queue
IoT Support	O	X	X
Compatibility	High	Low	Low

특히 사물인터넷을 지원하는 스마트 게이트웨이의 경우 다른 서비스 보다 사물인터넷 관련 패킷 큐잉에 대해 우선순위를 높임으로 체감하는 성능은 크게 느껴지도록 구현하는 방법이다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 OpenWRT기반의 사물인터넷 지원 스마트 게이트웨이를 개발하여 원격지에서 좀 더 안전하고 편리하게 접근할 수 있도록 하였다. 첫째로, 10종 이상의 다양한 센서 제어 모듈을 구현하여 사물인터넷 구현 사례를 다양화 하였다. 둘째로, 무선 센서 네트워크는 BLE, Zigbee, RF433에서 LoRa까지 지원하여 확장성을 확보하였다. 셋째로는 이를 모두 원격지에서 접근할 수 있도록 VPN지원 스마트게이트웨이 플랫폼을 개발하여 인터넷을 통하여 안전하게 제어가 가능하도록 하였다. 이를 바탕으로 VPN터널링의 실시간 트래픽 쉐이핑 알고리즘을 CPU부하, 패킷 DROP율 그리고 큐잉 우선순위를 적용하여 구현함으로 해서 저품질의 인터넷상황에서도 안정적이고 원활한 사물인터넷연동을 지원하도록 구현하였다. 이렇게 개발된 시제품은 교육용 장비로 1차 양산을 하였으며 이를 바탕으로 커스터마이징 튜닝을 통해 향후 다양한 응용 분야의 상용 및 개발 장비로 활용될 수 있도록 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

"This work (Grants No. C0395591) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2016. This work was supported by the research grant of Pai Chai University in 2017."

REFERENCES

[1] T. Jin. *OpenWrt Development Guide*, Wireless Networks Lab, CCIS, NEU. Retrieved, 2013.

[2] OpenVPN Web site [Internet]. Available: http://openvpn.net/.
[3] Introduction to iproute2, The Linux Foundation [Internet]. Available: http://www.linuxfoundation.org/collaborate/workgroups/networking/iproute2.
[4] B. Hubert, *Linux Advanced Routing & Traffic Control HOWTO*, DocBook Edition, 2012.
[5] S. E. Yang, B. O. Goh, J. K. Choi, H. K. Jung, "Wired/Wireless Gateway System Supporting LAN-to-LAN VPN with Multi-Queuing Realtime Traffic Shaping," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 5, pp. 1097-1103, May 2015.
[6] IoT-I consortium, *The Internet of Things Initiative ? IoT-i: Internet of Things Initiative* [Online]. Available: http://www.iot-i.eu/public.
[7] S. E. Yang, C. S. Kim, H. K. Jung, "A Study on Multi-Queuing Real-Time Traffic Shaping for VPN Tunneling VPN," *Far East Journal of Electronics and Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 823-830, Dec. 2016.

양승의(Seungeui Yang)

1989년 홍익대학교 전자계산학과(이학사)
1991년 홍익대학교 전자계산학과(이학석사)
2016년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1991년 ~ 1996년 국방과학연구소 연구원
1996년 ~ 2003년 (주)인터미디어 대표
2007년 ~ 2009년 (주)코아트리 이사
2010년 ~ 2014년 CEWIT Korea 연구위원
2013년 ~ 2016년 유넷(주) 이사
2016년 ~ 현재 (주)네오텍소프트 이사, 행복을만드는집 이사
※관심분야 : OpenWRT, Embedded Linux, VPN, UPnP, DLNA, OLSR, USN, IPROUTE, 서버보안

강인식(Inshik Kang)

1992년 청주대학교 연극영화학과(문학사)
2016년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 석사과정
1992년 ~ 1997년 MBC 문화방송
1997년 ~ 2005년 ITV 경인방송
2006년 MBC 미디어텍
2008년 ~ 현재 휴미디어 대표
2013년 ~ 현재 한국영상대학교 교수
2013년 ~ 현재 한국영상대학교 촬영조명과 교수
※관심분야 : 영상신호, 오디오신호, 방송국제신호제작(IS)

고병오(Byungoh Goh)

1986년 충남대학교 계산통계학과(이학사)
1989년 홍익대학교 전자계산학과(이학석사)
1996년 홍익대학교 전자계산학과(이학박사)
1997년 ~ 현재 공주교육대학교 컴퓨터교육과 교수
※관심분야 : Embedded System, 컴퓨터교육, STEAM 교육

정회경(Hoekyung Jung)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1987년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1993년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 멀티미디어 문서정보처리, XML, SVG, Web Services, Semantic Web, MPEG-21, Ubiquitous Computing, USN , IoT