

5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템의 설계 및 실험

한성일* · 이대식** · 한지환*** · 문현진**** · 임창민**** · 이상구*****

The Design and Experiment of AI Device Communication System Equipped with 5G

Han Seongil · Lee Daesik · Han Jihwan · Moon Hhyunjin · Lim Changmin · Lee Sangku

〈Abstract〉

In this paper, IO+5G dedicated hardware is developed and an AI device communication system equipped with a 5G is designed and tested. The AI device communication system equipped with a 5G receives the collected real-time images and the information collected from the IoT sensor in real time is to analyze the information and generates the risk detection events in the AI processing board. The event generated in the AI processing board creates a 5G channel in the dedicated hardware equipped with IO+5G. The created 5G channel delivers event video to the control video server. The 5G based dongle network enables faster data collection and more precise data measurement compared to wireless LAN and 5G routers. As a result of the experiment in this paper, the average test result of the 5G dongle network is about 51% faster than the Wi-Fi average test result in downlink and about 40% faster in uplink. In addition, when comparing the test result with terms of the 5G router to be set to 80% upload and 20% download, the average test result is that the 5G dongle network is about 11.27% faster when downloading and about 17.93% faster when uploading. when comparing the test result with terms of the the router to be set to 60% upload and 40% download, the 5G dongle network is about 11.19% faster when downlinking and about 13.61% faster when uplinking. Therefore, in this paper it describes that the developed 5G dongle network can improve the results by collecting data and analyzing it faster than wireless LAN and 5G routers.

Key Words : 5G Dongle, Wi-Fi, AI Processing Board, IO+5G Dedicated Hardware, Object Recognition Program

* ㈜ 트라이콤텍 책임연구원(주저자)
** ㈜ 트라이콤텍 연구소장(교신저자)
*** ㈜ 트라이콤텍 전임연구원
**** ㈜ 트라이콤텍 연구원
***** ㈜ 트라이콤텍 대표이사

I. 서론

지능형 디바이스란 인공지능(AI)을 통한 자동화된 서비스 제공을 위해 네트워크와 연결되어 데이터 수집 및 물리적 구동을 위한 역할을 하는 디바이스를 총칭한다[1]. 무선랜은 편의성과 비용절감 및 다른 네트워크와의 통합을 용이하게 함으로써 현재의 대부분의 컴퓨터들은 모두 무선랜을 사용하고 있고, 무선 네트워크 장비가 있는 어느 곳이든 무선 네트워크를 쉽게 사용할 수 있다는 편의성을 제공한다. 휴대성에서는 커피숍과 같은 공공 장소에서 무선 인터넷 접속을 적은 비용으로 사용할 수 있다. 또한 장소를 옮겨 다니며 원하는 네트워크의 접속을 유지할 수 있다[2, 3]. 배치에서는 무선 네트워크를 처음 설치만으로도 하나 이상의 액세스 포인트를 지원하고, 기존의 장비를 사용하여 수많은 접속을 할 수 있다. 그러나 무선랜은 연결이 불안정하고, 통신 거리도 짧고, 전송 지연이 수십 ms 이상 길고, 보안이 취약하고, 이동이 제한적이라 기업에서 데이터 전환에 한계가 있다. 또한 무선랜 성능이 좋지 않은 주변 컴퓨터가 무선 패킷을 가로챌 수 있을 뿐 아니라 사용자가 눈에 잘 띄는 곳에서 패킷을 가져갈 수 있다.

기존의 5G 라우터는 5G로 통신을 하지만, 로봇, 의료기기, AR 글라스 등의 장비와 종단으로 통신할 때는 5G 라우터의 Wi-Fi를 사용하여 장비와 연결되기 때문에 전파 신호 손실, 데이터 처리량, 안정성, 이동성 면에서 부족하다는 단점이 있다. 5G 동글은 로봇, 의료기기, AR 글라스 등의 장비와 USB-C 타입으로 직접적으로 연결되어 높은 데이터 처리량의 5G 네트워크를 안정적으로 사용할 수 있다. 자율 모빌리티 솔루션에서는 짧은 지연 시간을 활용하면 자율 주행 차량을 보편화할 수 있고, 스마트 팩토리에서는 실시간 데이터를 빠르게 수집하여 분석할 수 있다[4-6]. 따라서 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템을 설계하고 실험한다.

본 논문은 2장에서 관련 연구에 대해 소개하고, 3장에서는 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템의 구성도를 설명하고, 4장에서는 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템의 구현을 설명하고, 5장에서 실험, 6장에서 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

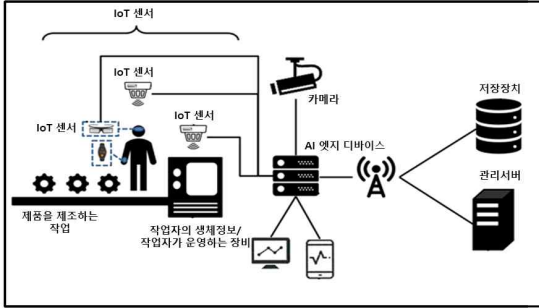
국내 공공 Wi-Fi 확대를 위한 비즈니스 모델에 관한 연구에서는 수익모델개발을 통해 공공 Wi-Fi의 운영과 유지가 제대로 이루어진다면 두가지 긍정적 결과를 불러올 것이라 예측된다[7].

첫번째는 국민들의 통신비 부담 완화이다. 공공 Wi-Fi 서비스를 통해 기존의 상용 Wi-Fi 설치 비용, 셀룰러데이터 요금제 비용 지출이 감소하여 통신비 부담이 큰 저소득층에 특히 실질적 도움이 될 것이라 예상된다.

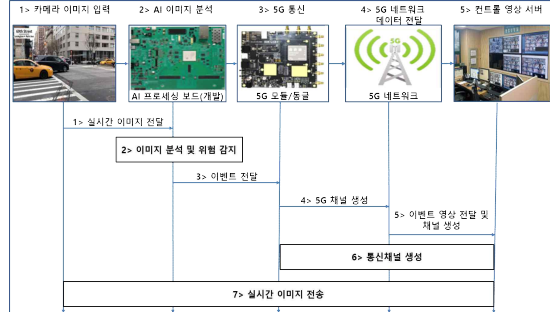
두번째는 정보 소외 계층의 온라인환경 참여이다. Wi-Fi가 설치되지 않았거나 신호가 불안정한 산간지역, 농촌지역에 거주하는 국민들도 공공시설에 설치된 공공Wi-Fi를 활용한다면 온라인 환경에 진출하여 다양한 활동에 참여할 수 있을 것이라 기대된다. 그러나 무선랜은 연결이 불안정하고, 통신 거리도 짧고, 전송 지연이 수십 ms 이상 길고, 보안이 취약하고, 이동이 제한적이라 기업에서 데이터 전환에 한계가 있다.

5G 기반의 AI 엣지 디바이스를 이용한 개선시스템 및 위험도 개선방법은 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에서 보면 인공지능 및 5G 기반의 네트워크를 이용하여 스마트 팩토리에서 제품을 제조하는 작업자나 발전소 등 각종 산업설비를 취급하고 관리하는 관리자 등의 업무 위험도를 개선하는 시스템에 관한 것이다. 스마트팩토리 등에 설치된 복수의 카메라 및 IoT 센서에서 수집되는 데이터를 활용하여 기



<그림 1> 5G 기반의 AI 엣지 디바이스를 이용한 위험도 개선시스템의 구성도[8]



<그림 2> 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템 구성도

계학습 모델을 개선하고, 작업자의 동작에 따른 결과를 예측함으로써 작업자의 작업시 위험도를 개선하고 생산성 및 업무 효율을 향상할 수 있으며, 상황별 위험도를 개선하여 전체 공정상 위험도 관리가 가능하다. 일반적으로 5G 기반 네트워크를 이용한 스마트 팩토리에서는 5G 라우터를 이용하여 구축되어 있다. 그러나 5G 라우터를 이용하게 되면 5G 라우터가 5G 기지국에 연결되고 라우터가 와이파이 신호를 발생하여 와이파이를 통해 장비와 연결되는 단점이 있다 [9, 10].

따라서 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템을 설계하고 실험한다.

III. 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템의 구성도

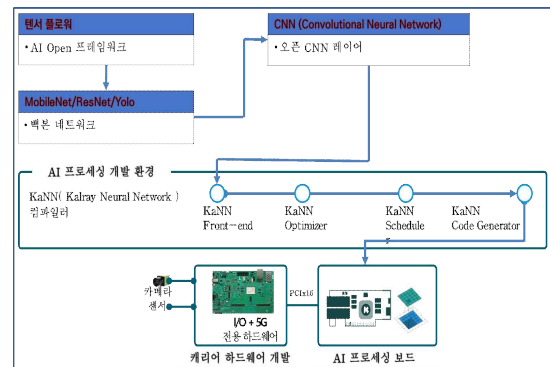
5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템 구성도는 <그림 2>와 같다.

<그림 2>에서 보면 카메라에서 수집된 실시간 영상과 IoT 센서로부터 수집된 정보 등을 실시간으로 전달받아 AI 프로세싱 보드에서 수집된 정보를 분석하고, 위험을 감지하여 이벤트를 전달한다.

AI 프로세싱 보드에서 발생된 이벤트는 IO+5G 전

용하드웨어 모듈에서 5G 채널을 생성하여 이벤트 영상을 컨트롤 영상 서버에 전달하는 AI 디바이스 통신 시스템의 구성도이다.

본 논문에서 제안한 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템 개발 구성도는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템 개발 구성도

<그림 2>에서 보면 MobilNet/ResNet/Yolo 알고리즘의 계층을 사용하고, TensorFlow를 통해 CNN(Convolutional Neural Network) 객체 인식 프로그램을 구현하여 KaNN(KalrayNeural Network) 컴파일러로 컴파일한다. 컴파일된 CNN 객체 인식 프로그램은 AI 프로세싱 보드에 포팅한다. AI 프로세싱 보드에 IO+5G 전용 하드웨어를 정합하는 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템 개발 구성도이다. 카메라와 IoT 센서로 실시간 수집된 정보 등을 5G를 탑재된 AI 디바

이 통신 시스템으로 빠르게 데이터를 처리한다. 따라서 5G 동글 네트워크는 무선랜과 5G 라우터에 비해서 더 빠른 데이터 수집을 가능하게 한다.

네트워크를 구성한다.

CNN 객체 인식 프로그램의 파일들은 <표 1>과 같다.

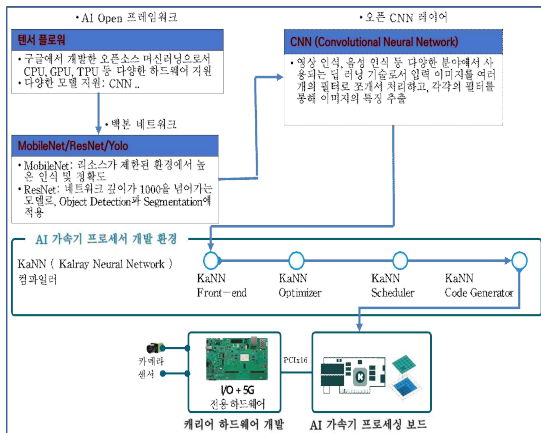
<표 1> CNN 객체 인식 프로그램의 파일

init.py	Python 패키지를 정의하는 파일
classes.txt	ResNet50 모델에서 사용되는 클래스들의 이름이 저장된 파일.
input_preparator.py	입력 데이터를 모델에 맞게 전처리해주는 파이썬 파일.
output_preparator	모델 출력 결과를 처리하는 파이썬 파일.
log.txt	모델을 실행할 때 발생한 로그들이 기록된 파일.
serialized_params_KaNNv4.11.0-ResNet50_MLP-erf-fp16-5c.bin	ResNet50 모델의 가중치가 저장된 이진 파일.
network.dump.yaml	ResNet50 모델의 아키텍처 정보가 저장된 YAML 파일.

IV. 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템의 구현

4.1 CNN 객체 인식 프로그램

CNN 객체 인식 프로그램의 구현은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> CNN 객체 인식 프로그램의 구현

<그림 4>에서 보면 Ai Open 프레임워크의 종류로는 대표적으로 텐서 플로우, 케라스, 파이토치등이 있고, 모두 python 기반으로 구현된다.

본 논문에서 사용하는 프로세서(MPPA3-80)는 ResNet 알고리즘의 50개 계층을 사용하고, 텐서 플로우를 통해CNN 객체 인식 프로그램이 구현된다.

기본적인 CNN 구조에서는 전체학습으로 각 weight layers가 모두 분리되어있기 때문에 각 Layer마다 학습을 진행하여야 하지만 ResNet 알고리즘은 추가적인 기본 블록을 사용하여 보다 단순한 형태의

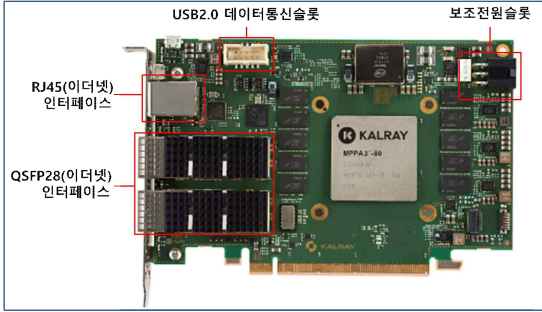
<표 1>에서 보면 _init_.py 파일은 Python 패키지를 정의하는 파일로 ResNet50 모델을 구현하는데 필요한 파일들이 포함된 패키지를 정의한다.

input_preparator.py 파일은 ResNet50 모델의 입력값을 처리하는 파일로 모델의 입력값을 전처리하는 역할을 한다. output_preparator 파일은 ResNet50 모델의 출력값을 처리하는 파일로 추론된 결과를 클래스 확률값으로 변환하고, 확률값이 높은 클래스의 인덱스를 반환한다.

network.dump.yaml 파일은 Residual Block을 구현하며, serialized_params_KaNNv4.11.0-ResNet50_MLP-erf-fp16-5c.bin 파일은 학습된 파라미터를 저장하는 이진파일로 레이어의 가중치(weight)와 편향(bias) 데이터를 저장한다.

4.2 AI 프로세싱 보드와 I/O+5G 전용 하드웨어

본 논문에서 사용된 AI 프로세싱 보드는 <그림 5>와 같다.



<그림 5> AI 프로세싱 보드

<그림 5>의 사양은 <표 2>와 같다.

<표 2> AI 프로세싱 보드의 사양

특징	기술 사양
칩셋	- 1x MPPA® 3-80 DPU(Coolidge™) - 최대 1GHz에서 80개 코어
인터페이스	- X16 PCIe Gen4 - 2x100Gb이더넷
메모리	- 2x DDR4 4GB @ 3200MT/s(ECC 포함) - MPPA®애플리케이션 코드용 1x 16GB eMMC - MPPA®부트로더코드용 1x 1Gb NOR 플래시
크기	- 167.65mm x 106.7mm
확장 슬롯	- 1x PCIe 슬롯 - 2x PCIe 슬롯 - 2.5x PCIe 슬롯

본 논문에서 개발하여 사용된 5G 동글 모듈은 <그림 6>과 같다.

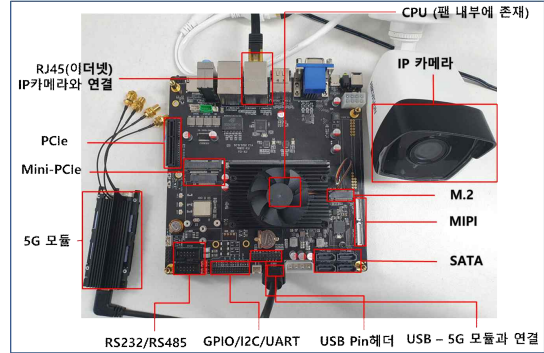


<그림 6> 5G 동글

일반적으로 이음 5G 서비스는 5G 라우터를 이용하게 되는데, 5G 라우터가 5G 기지국에 연결되고 라우터가 Wi-Fi 신호를 발생하여 Wi-Fi를 통해 장비와 연결된다. 하지만 5G 동글은 장비와 USB-C 타입으로 직접 연결되기 때문에 Wi-Fi나 이음 5G 서비스에 비

해 신호 손실이 없어 높은 속도로 데이터를 전송할 수 있으며, 소형화된 형태로 장비에 탑재가 하기 용이하다.

본 논문에서 5G 동글을 USB-C 타입으로 탑재하여 개발한 IO+5G 전용 하드웨어는 <그림 7>과 같다.



<그림 7> IO+5G 전용 하드웨어

<그림 7>에서 보면 PCIe 인터페이스는 AI 프로세싱 보드와 연결되고, 이더넷 인터페이스는 IP 카메라와 연결되고, USB 인터페이스는 5G 동글 모듈과 연결된다.

따라서 CNN 객체 인식 프로그램을 구현하고, AI 프로세싱 보드에 포팅하고, IO+5G 전용 하드웨어를 개발하여 AI 프로세싱에 정합하는 5G를 탑재한 AI 디바이스 통신 시스템을 설계 및 실험하였다.

V. 실험

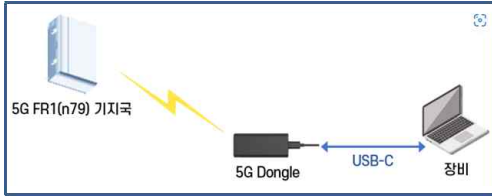
본 논문에서는 'IO+5G 전용 하드웨어'의 성능 및 기능 시험에 관한 내용을 설명하고 시험 결과를 분석한다.

현재 이음 5G 서비스는 5G 라우터를 이용하게 되는데, 5G 라우터가 5G 기지국에 연결되고 라우터가 Wi-Fi 신호를 발생하여 Wi-Fi를 통해 장비와 연결되는 구성도는 <그림 8>과 같다.

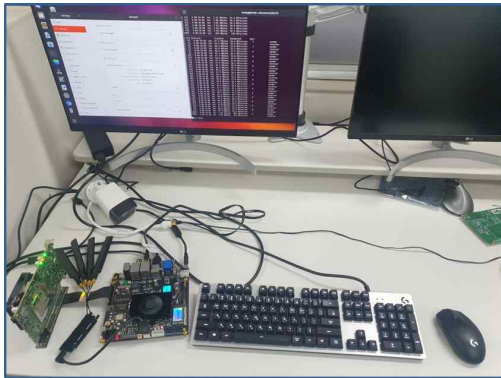


<그림 8> 5G 라우터 시험 환경 구성도

본 논문에서 5G 라우터를 이용하지 않고 USB-C 타입으로 직접 연결하는 5G 동글의 시험환경 구성도는 <그림 9>와 같고, 실제 시험 환경구성은 <그림 10>과 같다.



<그림 9> 5G 동글 시험 환경 구성도



<그림 10> 실제 시험 환경구성

DUT의 HW 및 SW 정보는 <표 3>과 같고, 계측 장비 정보는 <표 4>와 같다.

시험용 하드웨어 사양은 <표 5>와 같다. 시험절차는 다음과 같다.

- (1) 계측기와 DUT를 시험구성과 같이 연결한다.
- (2) DUT가 5G 기지국과 접속이 완료되면 각 시험

<표 3> DUT의 HW 및 SW 정보

구분	사양
제조사	개발 제품
모델명	5G동글
하드웨어 사양	'- Chipset : Qualcomm Snapdragon - x55Chipset-Standard : 5G NR/LTE /WCDMA-WCDMA - 주파수 : B1/B8/B9/B19-NR - 지원 모드 : Supports BOTH SA and NSA-Data - Interface : USB 3.1Type-C - NR 주파수 : n1/n3/n7/n8/n28/n38/n41/n77/n78/n79 - LTE 주파수 : B1/B3/B7/B8/B18/B19/B26/B28/B38/B41/B42

<표 4> 계측기/장비 정보

구분	규격
5G 기지국 (5G 4.7GHzIRU)	- Air Interface : 5G NR - Frequency Range : 4.72~4.82GHz - Bandwidth : 100MHz - MIMO : 4layer - Output Power : 27dBm - Antenna Type and Gain : Integrated, 5dBi - RHU-RU Transport : CAT6A, 10GbE, eCPRI - Power Consumption : 75W - Cooling : Natural - Power Source : PoE or -48VDC - Operating Temperature : -20~50℃ - Size (W x H x D) : 5.9L (250x250x95mm) - Weight : 5kg

<표 5> 시험용 하드웨어 사양

구분	사양
하드웨어 사양	CPU: Quad-Cores with 2.4GHz x 64 / RAM: 16GB / SSD: 1TB / GigE: 1G
OS	Linux Ubuntu

항목의 조건을 콘솔을 통해 실행한다.

- (3) 시험 조건별 동작 중인 DUT의 Throughput을 측정, 10회씩 5회반복한다.

*Iperf 에러(딜레이)로 인한 초반 1회 속도 저하 부분 제외

시험 결과는 다음과 같다.

Downlink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과는 <그림 11>과 같다.

```
C:\wiper_3.1.3>iperf3 -c 10.254.170.110 -P 16 -R -t 10
Connecting to host 10.254.170.110, port 5201
Reverse mode, remote host 10.254.170.110 is sending
[ 4] local 10.0.100.181 port 51207 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 6] local 10.0.100.181 port 51208 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 8] local 10.0.100.181 port 51209 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] local 10.0.100.181 port 51210 connected to 10.254.170.110 port 5201
[12] local 10.0.100.181 port 51211 connected to 10.254.170.110 port 5201
[14] local 10.0.100.181 port 51212 connected to 10.254.170.110 port 5201
[16] local 10.0.100.181 port 51213 connected to 10.254.170.110 port 5201
[18] local 10.0.100.181 port 51214 connected to 10.254.170.110 port 5201
[20] local 10.0.100.181 port 51215 connected to 10.254.170.110 port 5201
[22] local 10.0.100.181 port 51216 connected to 10.254.170.110 port 5201
[24] local 10.0.100.181 port 51217 connected to 10.254.170.110 port 5201
[26] local 10.0.100.181 port 51218 connected to 10.254.170.110 port 5201
[28] local 10.0.100.181 port 51219 connected to 10.254.170.110 port 5201
[30] local 10.0.100.181 port 51220 connected to 10.254.170.110 port 5201
[32] local 10.0.100.181 port 51221 connected to 10.254.170.110 port 5201
[34] local 10.0.100.181 port 51222 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 4.59 MBytes 38.5 Mbits/sec
[ 6] 0.00-1.00 sec 3.63 MBytes 30.4 Mbits/sec
[ 8] 0.00-1.00 sec 4.59 MBytes 38.5 Mbits/sec
[10] 0.00-1.00 sec 3.98 MBytes 33.4 Mbits/sec
[12] 0.00-1.00 sec 4.39 MBytes 36.8 Mbits/sec
[14] 0.00-1.00 sec 3.89 MBytes 32.6 Mbits/sec
[16] 0.00-1.00 sec 4.32 MBytes 36.3 Mbits/sec
[18] 0.00-1.00 sec 4.55 MBytes 38.1 Mbits/sec
[20] 0.00-1.00 sec 4.42 MBytes 37.0 Mbits/sec
[22] 0.00-1.00 sec 3.58 MBytes 30.0 Mbits/sec
[24] 0.00-1.00 sec 3.64 MBytes 30.5 Mbits/sec
[26] 0.00-1.00 sec 4.52 MBytes 37.9 Mbits/sec
[28] 0.00-1.00 sec 4.49 MBytes 37.6 Mbits/sec
[30] 0.00-1.00 sec 4.41 MBytes 36.9 Mbits/sec
[32] 0.00-1.00 sec 4.38 MBytes 36.7 Mbits/sec
[34] 0.00-1.00 sec 4.44 MBytes 37.2 Mbits/sec
[SUM] 0.00-1.00 sec 67.8 MBytes 568 Mbits/sec
```

<그림 11> 시험 결과 1(5G 동글 Throughput Test, Downlink(TDDConfiguration(D8:U2))

Uplink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과는 <그림 12>와 같다.

```
C:\wiper_3.1.3>iperf3 -c 10.254.170.110 -P 16
Connecting to host 10.254.170.110, port 5201
[ 4] local 10.0.100.182 port 61691 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 6] local 10.0.100.182 port 61692 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 8] local 10.0.100.182 port 61693 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] local 10.0.100.182 port 61694 connected to 10.254.170.110 port 5201
[12] local 10.0.100.182 port 61695 connected to 10.254.170.110 port 5201
[14] local 10.0.100.182 port 61696 connected to 10.254.170.110 port 5201
[16] local 10.0.100.182 port 61697 connected to 10.254.170.110 port 5201
[18] local 10.0.100.182 port 61698 connected to 10.254.170.110 port 5201
[20] local 10.0.100.182 port 61699 connected to 10.254.170.110 port 5201
[22] local 10.0.100.182 port 61700 connected to 10.254.170.110 port 5201
[24] local 10.0.100.182 port 61701 connected to 10.254.170.110 port 5201
[26] local 10.0.100.182 port 61702 connected to 10.254.170.110 port 5201
[28] local 10.0.100.182 port 61703 connected to 10.254.170.110 port 5201
[30] local 10.0.100.182 port 61704 connected to 10.254.170.110 port 5201
[32] local 10.0.100.182 port 61705 connected to 10.254.170.110 port 5201
[34] local 10.0.100.182 port 61706 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec 1.12 MBytes 9.39 Mbits/sec
[ 6] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[ 8] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[10] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[12] 0.00-1.01 sec 1.12 MBytes 9.39 Mbits/sec
[14] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[16] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[18] 0.00-1.01 sec 1.38 MBytes 11.5 Mbits/sec
[20] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[22] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[24] 0.00-1.01 sec 1.38 MBytes 11.5 Mbits/sec
[26] 0.00-1.01 sec 1.12 MBytes 9.39 Mbits/sec
[28] 0.00-1.01 sec 1.38 MBytes 11.5 Mbits/sec
[30] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[32] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[34] 0.00-1.01 sec 1.25 MBytes 10.4 Mbits/sec
[SUM] 0.00-1.01 sec 20.0 MBytes 167 Mbits/sec
```

<그림 12> 시험 결과 2(5G 동글 Throughput Test, Uplink(TDDConfiguration(D8:U2))

Downlink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 <그림 13>과 같다.

```
C:\wiper_3.1.3>iperf3 -c 10.254.170.110 -P 16 -w 420000 -R
Connecting to host 10.254.170.110, port 5201
Reverse mode, remote host 10.254.170.110 is sending
[ 4] local 10.0.100.235 port 55191 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 6] local 10.0.100.235 port 55192 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 8] local 10.0.100.235 port 55193 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] local 10.0.100.235 port 55194 connected to 10.254.170.110 port 5201
[12] local 10.0.100.235 port 55195 connected to 10.254.170.110 port 5201
[14] local 10.0.100.235 port 55196 connected to 10.254.170.110 port 5201
[16] local 10.0.100.235 port 55197 connected to 10.254.170.110 port 5201
[18] local 10.0.100.235 port 55198 connected to 10.254.170.110 port 5201
[20] local 10.0.100.235 port 55199 connected to 10.254.170.110 port 5201
[22] local 10.0.100.235 port 55200 connected to 10.254.170.110 port 5201
[24] local 10.0.100.235 port 55201 connected to 10.254.170.110 port 5201
[26] local 10.0.100.235 port 55202 connected to 10.254.170.110 port 5201
[28] local 10.0.100.235 port 55203 connected to 10.254.170.110 port 5201
[30] local 10.0.100.235 port 55204 connected to 10.254.170.110 port 5201
[32] local 10.0.100.235 port 55205 connected to 10.254.170.110 port 5201
[34] local 10.0.100.235 port 55206 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 6.37 MBytes 53.4 Mbits/sec
[ 6] 0.00-1.00 sec 4.39 MBytes 36.7 Mbits/sec
[ 8] 0.00-1.00 sec 5.53 MBytes 46.4 Mbits/sec
[10] 0.00-1.00 sec 6.01 MBytes 50.3 Mbits/sec
[12] 0.00-1.00 sec 5.81 MBytes 48.7 Mbits/sec
[14] 0.00-1.00 sec 3.96 MBytes 33.2 Mbits/sec
[16] 0.00-1.00 sec 5.82 MBytes 48.8 Mbits/sec
[18] 0.00-1.00 sec 5.31 MBytes 44.5 Mbits/sec
[20] 0.00-1.00 sec 4.27 MBytes 35.8 Mbits/sec
[22] 0.00-1.00 sec 3.68 MBytes 30.8 Mbits/sec
[24] 0.00-1.00 sec 3.66 MBytes 30.7 Mbits/sec
[26] 0.00-1.00 sec 5.54 MBytes 46.4 Mbits/sec
[28] 0.00-1.00 sec 5.69 MBytes 47.7 Mbits/sec
[30] 0.00-1.00 sec 5.32 MBytes 44.5 Mbits/sec
[32] 0.00-1.00 sec 3.91 MBytes 32.7 Mbits/sec
[34] 0.00-1.00 sec 4.13 MBytes 34.6 Mbits/sec
[SUM] 0.00-1.00 sec 79.4 MBytes 665 Mbits/sec
```

<그림 13> 시험 결과 3(5G 동글 Throughput Test, Downlink(TDDConfiguration(D6:U4))

Uplink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 <그림 14>와 같다.

```
C:\wiper_3.1.3>iperf3 -c 10.254.170.110 -P 16 -w 420000
Connecting to host 10.254.170.110, port 5201
[ 4] local 10.0.100.235 port 51447 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 6] local 10.0.100.235 port 51448 connected to 10.254.170.110 port 5201
[ 8] local 10.0.100.235 port 51449 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] local 10.0.100.235 port 51450 connected to 10.254.170.110 port 5201
[12] local 10.0.100.235 port 51451 connected to 10.254.170.110 port 5201
[14] local 10.0.100.235 port 51452 connected to 10.254.170.110 port 5201
[16] local 10.0.100.235 port 51453 connected to 10.254.170.110 port 5201
[18] local 10.0.100.235 port 51454 connected to 10.254.170.110 port 5201
[20] local 10.0.100.235 port 51455 connected to 10.254.170.110 port 5201
[22] local 10.0.100.235 port 51456 connected to 10.254.170.110 port 5201
[24] local 10.0.100.235 port 51457 connected to 10.254.170.110 port 5201
[26] local 10.0.100.235 port 51458 connected to 10.254.170.110 port 5201
[28] local 10.0.100.235 port 51459 connected to 10.254.170.110 port 5201
[30] local 10.0.100.235 port 51460 connected to 10.254.170.110 port 5201
[32] local 10.0.100.235 port 51461 connected to 10.254.170.110 port 5201
[34] local 10.0.100.235 port 51462 connected to 10.254.170.110 port 5201
[10] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 2.50 MBytes 20.9 Mbits/sec
[ 6] 0.00-1.00 sec 2.62 MBytes 22.0 Mbits/sec
[ 8] 0.00-1.00 sec 2.50 MBytes 20.9 Mbits/sec
[10] 0.00-1.00 sec 2.75 MBytes 23.0 Mbits/sec
[12] 0.00-1.00 sec 2.75 MBytes 23.0 Mbits/sec
[14] 0.00-1.00 sec 2.62 MBytes 22.0 Mbits/sec
[16] 0.00-1.00 sec 2.62 MBytes 22.0 Mbits/sec
[18] 0.00-1.00 sec 2.38 MBytes 19.9 Mbits/sec
[20] 0.00-1.00 sec 2.62 MBytes 22.0 Mbits/sec
[22] 0.00-1.00 sec 2.50 MBytes 20.9 Mbits/sec
[24] 0.00-1.00 sec 2.75 MBytes 23.0 Mbits/sec
[26] 0.00-1.00 sec 2.62 MBytes 22.0 Mbits/sec
[28] 0.00-1.00 sec 2.38 MBytes 19.9 Mbits/sec
[30] 0.00-1.00 sec 2.38 MBytes 19.9 Mbits/sec
[32] 0.00-1.00 sec 2.50 MBytes 20.9 Mbits/sec
[34] 0.00-1.00 sec 2.50 MBytes 20.9 Mbits/sec
[SUM] 0.00-1.00 sec 41.0 MBytes 343 Mbits/sec
```

<그림 14> 시험 결과 4(5G 동글 Throughput Test, Uplink(TDDConfiguration(D8:U2))

시험 결과 1, 시험 결과 2, 시험 결과 3, 시험 결과 4의 5G 동글 평균 시험 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 5G 동글 평균 시험 결과

구분	측정 항목	측정 조건	측정결과 (*평균)
5G 4.7GHz(n79) Through put	5G 4.7GHz(n79) Downlink	TDD Configuration (D8:U2) Bandwidth(100MHz)	918.022Mbi ts/s
	5G4.7GHz(n79) Uplink	TDD Configuration (D8:U2) Bandwidth(100MHz)	143.644Mbi ts/s
	5G 4.7GHz(n79) Downlink	TDD Configuration (D6:U4) Bandwidth(100MHz)	853.333Mbi ts/s
	5G4.7GHz(n79) Uplink	TDD Configuration (D6:U4) Bandwidth(100MHz)	302.866Mbi ts/s

<표 6>을 보면 Downlink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과 평균 918.022Mbits/s이고, Uplink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 143.644Mbits/s이다. Downlink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 853.333Mbits/s이고, Uplink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 302.866Mbits/s 이다.

5GHz의 Wi-fi 주파수 대역, 802.11ax의 Wifi 규격, Bandwidth(20/40/80/160MHz)의 Wi-fi 대역폭을 사용하여 실험하였다. Wi-Fi를 실험 결과는 환경에 따라 동적으로 변경되어 작동되며, 20/40/80/160MHz의 대역폭을 모두 사용하였다.

Wi-Fi 평균 시험 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7>을 보면 Downlink 시 사용망의 다운로드를 구성하여 시험한 시험 결과 평균 446.830Mbits/s이고, Uplink 시 사용망의 다운로드를 구성하여 시험한 시험 결과 평균 86.820Mbits/s이다.

<표 6>의 5G 동글 평균 시험 결과와 <표 7>의 Wi-Fi 평균 시험 결과를 비교한 결과 Downlink 시

<표 7> Wi-Fi 평균 시험 결과

구분	측정 항목	측정 조건	측정결과 (*평균)
Wi-Fi(80 2.11ax) 5GHz	Wi-Fi 5GHz (802.11ax) Downlink	Bandwidth(20/40/80/1 60MHz)	446.830 Mbits/s
	Wi-Fi 5GHz (802.11ax) Uplink	Bandwidth(20/40/80/1 60MHz)	86.820 Mbits/s

<표 8> 5G 라우터 평균 시험 결과

구분	측정 항목	측정 조건	측정결과 (*평균)
5G 4.7GHz(n79) Through put	5G 4.7GHz(n79) Downlink	TDD Configuration (D8:U2) Bandwidth(100MHz)	814.516Mbi ts/s
	5G4.7GHz(n79) Uplink	TDD Configuration (D8:U2) Bandwidth(100MHz)	117.891Mbi ts/s
	5G 4.7GHz(n79) Downlink	TDD Configuration (D6:U4) Bandwidth(100MHz)	757.851Mbi ts/s
	5G4.7GHz(n79) Uplink	TDD Configuration (D6:U4) Bandwidth(100MHz)	261.664Mbi ts/s

5G 동글 평균 시험 결과 Wi-Fi 평균 시험 결과 보다 약 51% 빠르고, Uplink 시 5G 동글 평균 시험 결과가 Wi-Fi 평균 시험 결과 보다 약 40% 빠르다.

5G 라우터 평균 시험 결과는 <표 8>과 같다.

<표 8>을 보면 Downlink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과 평균 814.516Mbits/s이고, Uplink 시 기지국의 다운로드를 80% 업로드를 20%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 117.891Mbits/s이다. Downlink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 757.851Mbits/s이고, Uplink 시 기지국의 다운로드를 60% 업로드를 40%로 구성하여 시험한 시험 결과는 평균 261.664Mbits/s 이다.

<표 6>의 5G 동글 평균 시험 결과와 <표 8>의 5G 라우터 평균 시험 결과를 80% 업로드를 20%로 구성

하여 비교한 결과 Downlink 시 5G 동글 네트워크가 약 11.27% 빠르고, Uplink 시 약 17.93% 빠르다. 60% 업로드를 40%로 구성하여 비교한 결과 Downlink 시 5G 동글 네트워크가 약 11.19% 빠르고, Uplink 시 약 13.61% 빠르다.

VI. 결론

본 논문에서 개발한 5G 동글은 소형화된 형태로 장비에 탑재가 하기가 용이하고, 로봇, 의료기기, AR 글라스 등의 장비와 USB-C 타입으로 직접적으로 연결되어 높은 데이터 처리량의 5G 네트워크를 안정적으로 사용할 수 있다. 실험에서 보듯이 5G 동글 평균 시험 결과와 Wi-Fi 평균 시험 결과를 비교한 결과 Downlink 시 5G 동글 평균 시험 결과가 Wi-Fi 평균 시험 결과 보다 약 51% 빠르고, Uplink 시 5G 동글 평균 시험 결과가 Wi-Fi 평균 시험 결과 보다 약 40% 빠르다. 5G 동글 평균 시험 결과와 5G 라우터 평균 시험 결과를 80% 업로드를 20%로 구성하여 비교한 결과 Downlink 시 5G 동글 네트워크가 약 11.27% 빠르고, Uplink 시 약 17.93% 빠르다. 60% 업로드를 40%로 구성하여 비교한 결과 Downlink 시 5G 동글 네트워크가 약 11.19% 빠르고, Uplink 시 약 13.61% 빠르다.

5G 동글 네트워크는 무선랜과 5G 라우터에 비해서 더 빠르게 데이터를 수집, 분석하여 결과를 개선할 수 있다. 따라서 5G 동글 네트워크는 여러 가지 측면에서 기능을 개선할 수 있다. 자율 모빌리티 솔루션에서는 5G 동글의 짧은 지연 시간을 활용하면 자율주행 차량을 보편화할 수 있다. 도로를 송신기와 센서에 연결하여 1/1,000초 안에 차량에 정보를 보내고 받을 수 있다. 스마트 팩토리에서는 5G 동글 모바일 네트워크를 이용하여 제조업 과정에서 초연결 스마트 팩토리를 만들 수 있다. 5G 동글은 사물 인터넷을

지원하기 때문에 공장에서 카메라 및 센서와 같은 수천 개의 스마트 디바이스에 연결하여 실시간으로 데이터를 수집, 분석, 처리하여 운영 효율성과 경제성을 개선할 수 있다.

참고문헌

- [1] 이병복 · 박애순 · 김대식 · 노광현, "LonRF 지능형 디바이스 기반의 유비쿼터스 홈네트워크 테스트베드 개발," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제10권, 제6호, 2004, pp.566-573.
- [2] 이운민 · 이재춘, "에지를 가진 평면 모노폴 안테나의 무선랜 대역 저지에 관한 연구," 디지털산업정보학회 논문지, 제19권, 제4호, 2013, pp.43~49.
- [3] 심용섭 · 이일규, "무선랜 AP간 거리에 따른 단말기의 전송 속도 영향 연구," 한국정보기술학회 논문지, 제10권, 제3호, 2014, pp.117-121.
- [4] 유승수 · 이성형 · 신재승 · 오성민 · 김재현, "이동통신 네트워크의 초다수 디바이스 환경 구축을 위한 LTE Random Access 성능 분석," 한국통신학회 학술대회논문집, 제2016권, 제1호, 2016, pp.89-91.
- [5] 최병관, "자율주행자동차 오픈플랫폼 온톨로지 구축을 위한 스마트디바이스 연구," 디지털산업정보학회 논문지, 제5권, 제3호, 2019, pp.1-14.
- [6] 김영동, "5G 기반 철도 통신망의 트래픽 전송 성능," 한국전자통신학회 논문지, 제16권, 제6호, 2021, pp.1069-1074.
- [7] 황준수 · 고영채, "국내 공공와이파이 확대를 위한 비즈니스 모델에 관한 연구," 2020년도 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집, 2020, pp.555-556.
- [8] 한성일 · 한지환 · 문현진 · 이대식 · 이상구, "5G 기반의 AI 엣지디바이스를 이용한 위험도 개선시

스텝 및 위험도 개선방법,” 대한민국 특허청, 3월, 2023.

- [9] 배경율·이홍우, “5G에서 V2X를 위한 End to End 모델 및 지연 성능 평가,” 지능정보연구, 제 22권, 제1호, 2016, pp.107-118.
- [10] 정만수·홍대식·지용구, “5G 서비스의 이용의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구,” 한국전자거래학회지, 제25권, 제1호, 2020, pp.135-176.

■ 저자소개 ■



한 성 일
(Han Seongil)

2007년 7월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 책임연구원
국립 한밭대학교 정보통신학부
공학사)

관심분야 : 이동통신시스템(5G, OTA, 인증)
AR/VR 어플리케이션,
E-mail : sihan@tricomtek.com



이 대 식
(Lee Daesik)

2011년 4월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 연구소장
1995년 2월 가톨릭관동대학교 전자계산공학과
공학사)
1999년 8월 가톨릭관동대학교 전자계산공학과
공학석사)
2004년 2월 가톨릭관동대학교 전자계산공학과
공학박사)

관심분야 : 시스템소프트웨어, 멀티미디어,
비쿼터스 통신
E-mail : daesik@tricomtek.com



한 지 환
(Han Jihwan)

2016년 2월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 전임연구원
2016년 2월 경운대학교 모바일공학과 (공학사)

관심분야 : 5G 모바일 네트워크, AR/VR,
스마트팩토리, 스마트에너지
E-mail : youngmo@tricomtek.com



문 현 진
(Moon HhyunJin)

2019년 1월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 연구원
2019년 2월 부천대학교 정보통신과 (전문학사)

관심분야 : 이동통신시스템(5G, OTA, RF
설계), AR/VR 어플리케이션
E-mail : hyunjin@tricomtek.com



임 창 민
(Lim Changmin)

2022년 7월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 연구원
2023년 3월 가톨릭관동대학교 소프트웨어학과
(공학사)

관심분야 : 임베디드, 시스템소프트웨어
E-mail : changmin@tricomtek.com



이 상 구
(Lee Sangku)

1998년 11월 ~ 현재
트라이콤텍(주) 대표이사
2020년 ~ 현재
VRARA(세계VARA협회) 한국 대표
1985년 2월 한양대학교 전자공학과 (공학사)

관심분야 : 이동통신시스템(5G, OTA, 인증),
AR/VR/XR 솔루션
E-mail : sangku@tricomtek.com

논문접수일 : 2023년 4월 9일
수정접수일 : 2023년 4월 23일(1차)
2023년 5월 4일(2차)
게재확정일 : 2023년 5월 13일