

測定器・シミュレータを用いたfree5GC性能測定結果

NTT東日本 田島 怜弥

自己紹介



田島 怜弥(Tajima Ryoya)

【遍歴】

- ・大学時代 OFDM移動受信環境下における干渉特性について研究
- ・2020年4月 NTT東日本へ新卒入社
- ・2020年6月頃 初めて5Gコアネットワークに触れる
- 以降 free5gcの検証などを行う仕事をしています。

【趣味】

乗馬、自動車の修理、映画鑑賞

【好きな食べ物】

きんぴらごぼう、芋煮、カレーライス



free5GC (v3.0.5) のU-Plane性能とC-Plane性能の評価結果の紹介.

取り組み背景

- 各OSSの5GCの特徴・実装を把握したい
 - ✓ 性能面 (U-Plane/C-Plane) ・機能面の強みと弱み
 - ✓ HW条件と性能の関係

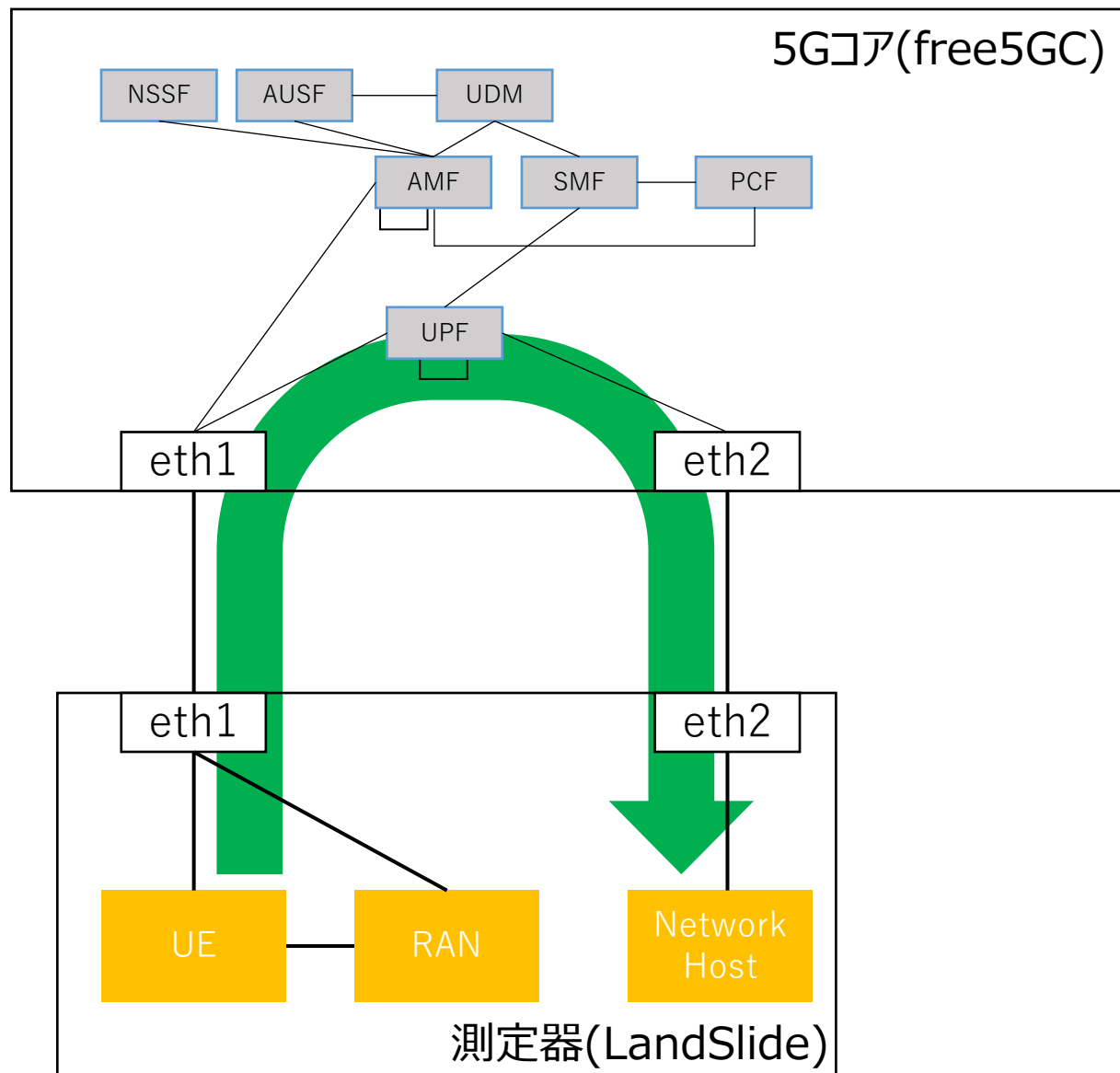
⇒ ユーザも多くコミュニティも活発な『free5GC』から着手

5GCのOSSもたくさんあるけど、ぶっちゃけどこまで使えるの？



- 台湾の国立交通大学（NCTU）が主導で開発 
- StandAlone（SA）構成に対応し，3GPP Release 15に準拠
- 様々なネットワークファンクションを実装
 - ✓NRF／AMF／AUSF／SMF／PCF／UDM／UDR／NSSF／UPF／N3IWF
- 開発も活発に行われており，最新バージョンはv3.0.5（2021.4時点）
- コミュニティの動きも活発で，「free5GC forum」も存在．

評価環境・条件



【評価環境】

・5Gコア(free5gc v3.0.5)

汎用サーバーを使用
CPU: Xeon(12コア)
RAM: 16GB

・測定器

spilent社 LandSlide (インターフェースは1G)

【測定条件】

・スループット測定 (300秒 1Gbps負荷)

- 双方向同時負荷試験
 - 片方向負荷試験 (今回はULのみ測定)
- TCP/UDPにて測定
Short(66Byte), Middle(768Byte)
Long(1400Byte)のパケットモデルを用いる

・遅延測定 (300秒)

片方向遅延

・リソース測定 (300秒)

topコマンドを用いて1秒おきに測定

性能測定結果～U-Plane①～

●双方向同時負荷試験 (DL)

スループット300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 336 | 273 | 1.03 |
| UDP | 916 | 901 | 36 |

単位:Mbps

片方向遅延時間300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 1.59 | 1.17 | 3.11 |
| UDP | 24.5 | 17.4 | 505.7 |

単位:ms

グラフからは除外

ShortパケットではUPFでのenc/dec処理が追い付いていない可能性

- ・UPFの作りがよくない？（プールできる容量が少ないなど）
 - ・単純にCPUリソースが足りていない
 - ・LROによりパケット結合できずShortパケット時は大幅に低下？
- TCPのLongとMiddleでもUDPに比べ大幅に低下がみられる

凡例

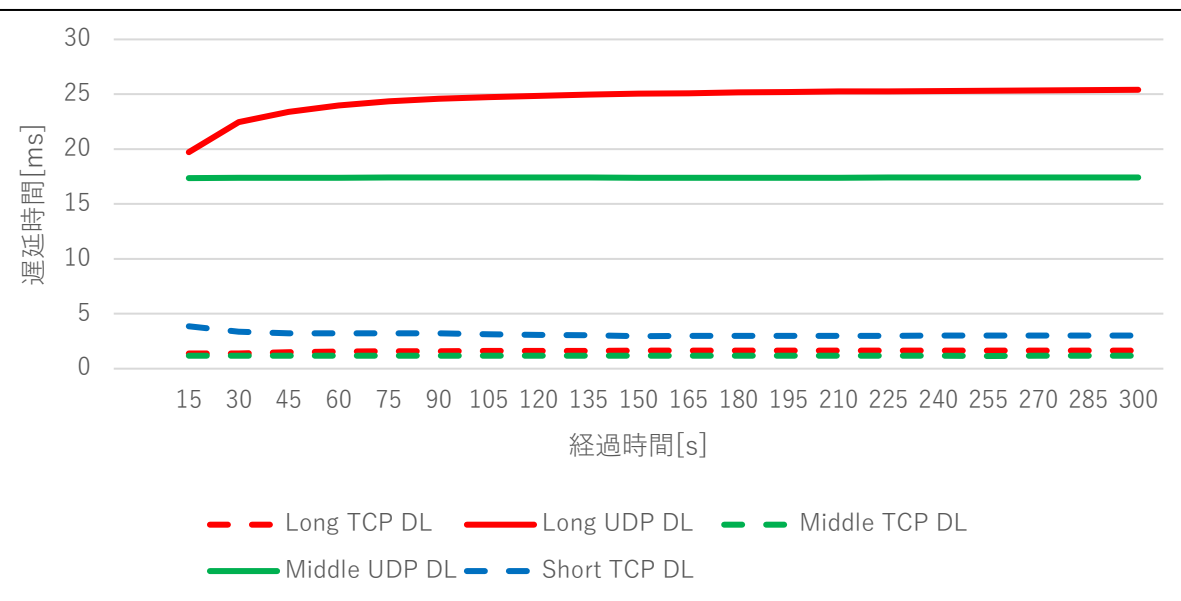
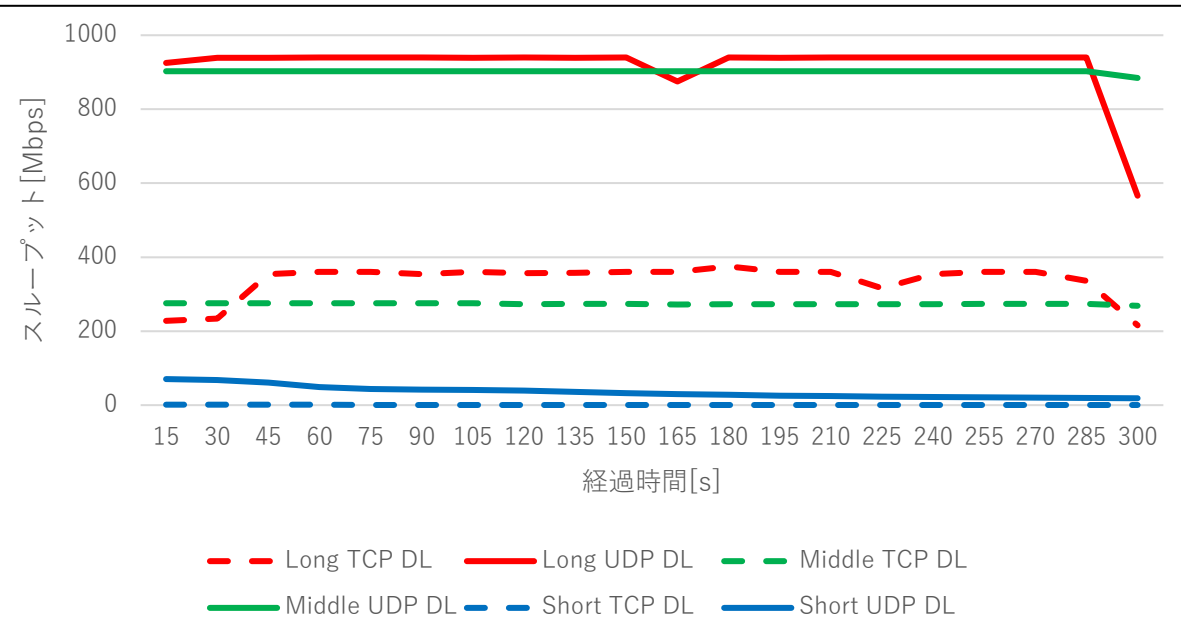
赤:Longパケット(1400byte)

緑:Middleパケット(768byte)

青:Shortパケット(66byte)

破線:TCP

実線:UDP



性能測定結果～U-Plane②～

● 双方向同時負荷試験 (UL)

スループット300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 317 | 273 | 0.87 |
| UDP | 932 | 901 | 116 |

単位:Mbps

片方向遅延時間300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 1.74 | 1.09 | 4.47 |
| UDP | 12.2 | 7.72 | 10.4 |

単位:ms

Shortパケット時のみ著しくスループットの低下

⇒ShortパケットではUPFでのenc/dec処理が追い付いていない可能性

⇒測定機側のCPUリソース不足

DLに比べ片方向遅延が小さい

凡例

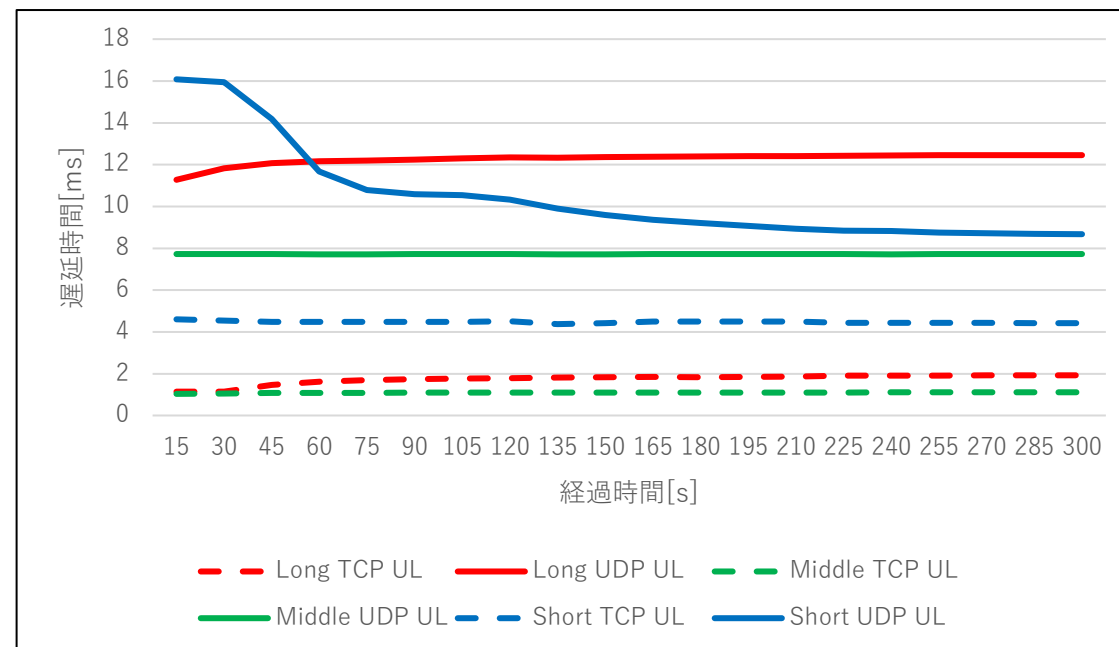
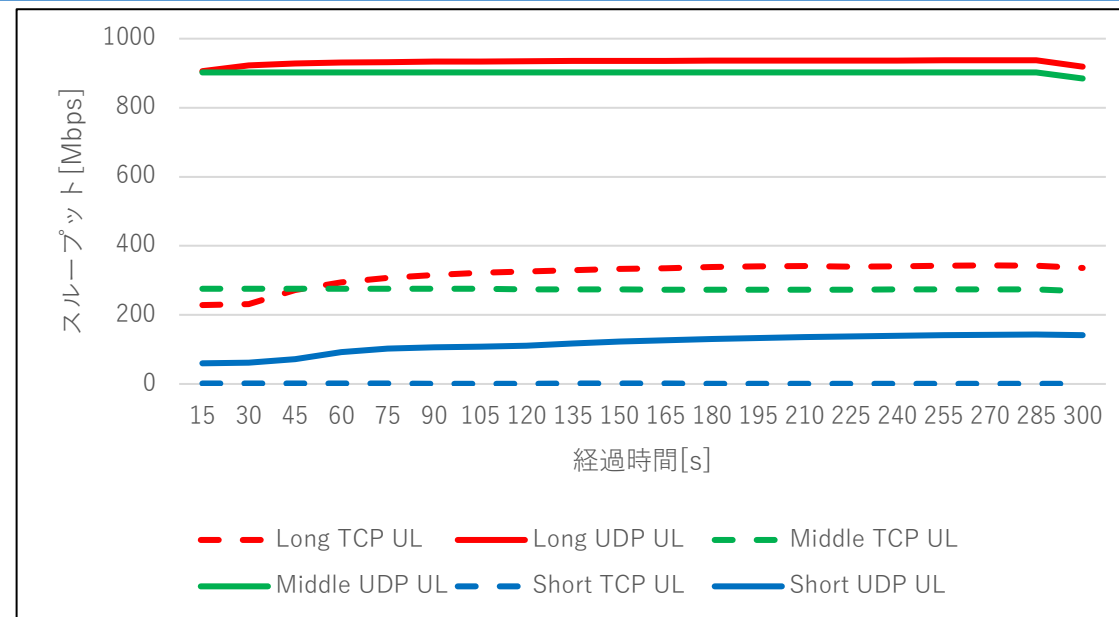
赤:Longパケット(1400byte)

緑:Middleパケット(768byte)

青:Shortパケット(66byte)

破線:TCP

実線:UDP



性能測定結果～U-Plane③～

●片方向負荷試験（UL側）

スループット300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 793 | 771 | 1.39 |
| UDP | 870 | 899 | 883 |

単位:Mbps

片方向遅延時間300秒平均

| | Long | Middle | Short |
|-----|------|--------|-------|
| TCP | 1.47 | 1.55 | 4.11 |
| UDP | 7.61 | 8.19 | 8.28 |

単位:ms

TCP通信時のShortパケット時のみ著しくスループットの低下
⇒ShortパケットではUPFでのenc/dec処理が追い付いていない可能性
⇒測定機側のCPUリソース不足の可能性

凡例

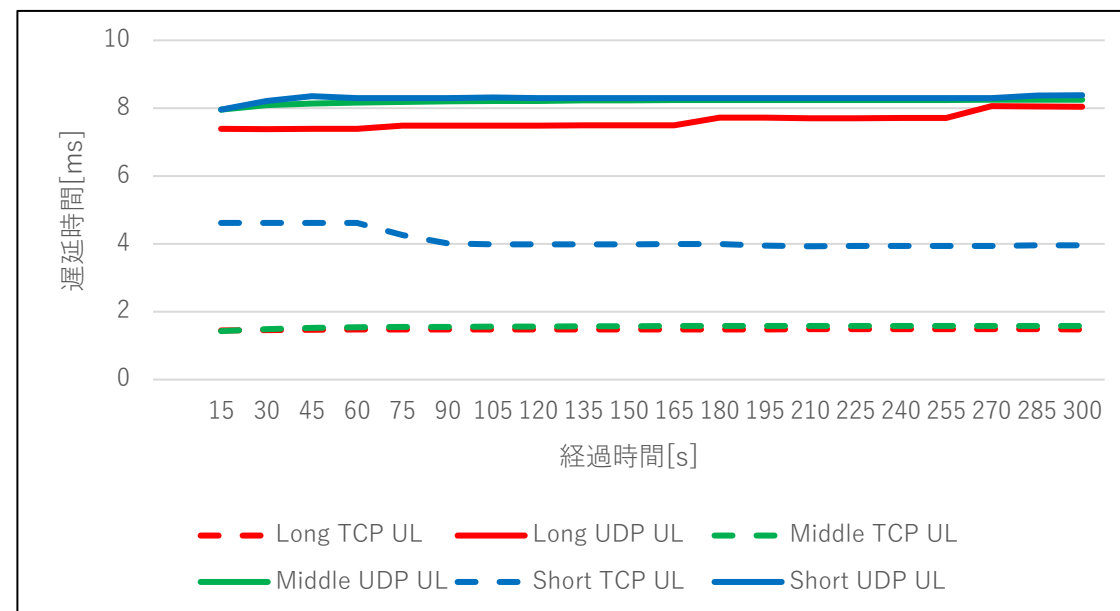
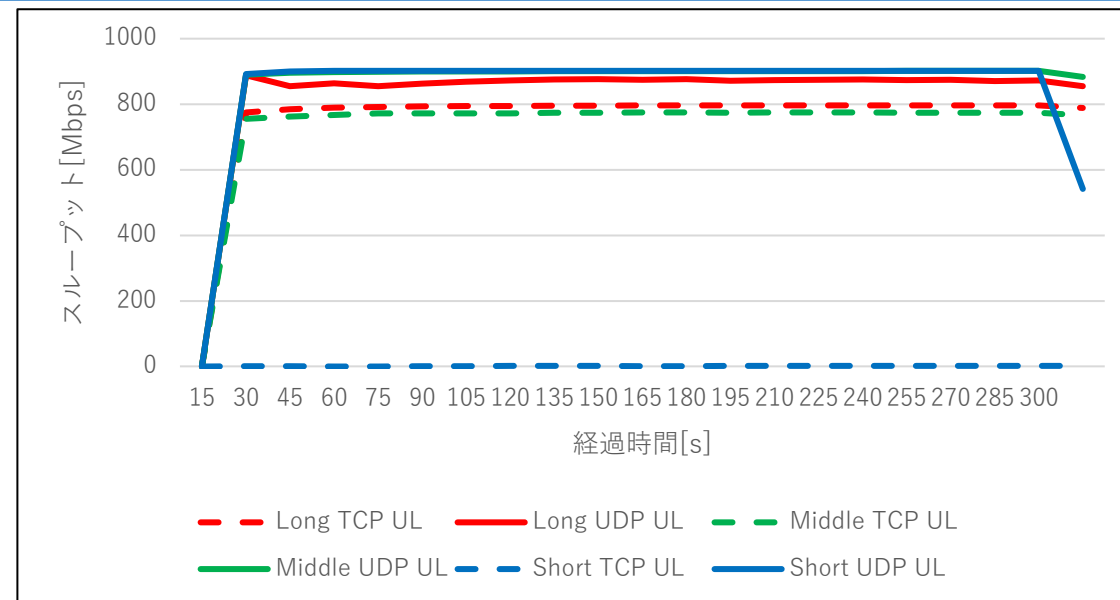
赤:Longパケット(1400byte)

緑:Middleパケット(768byte)

青:Shortパケット(66byte)

破線:TCP

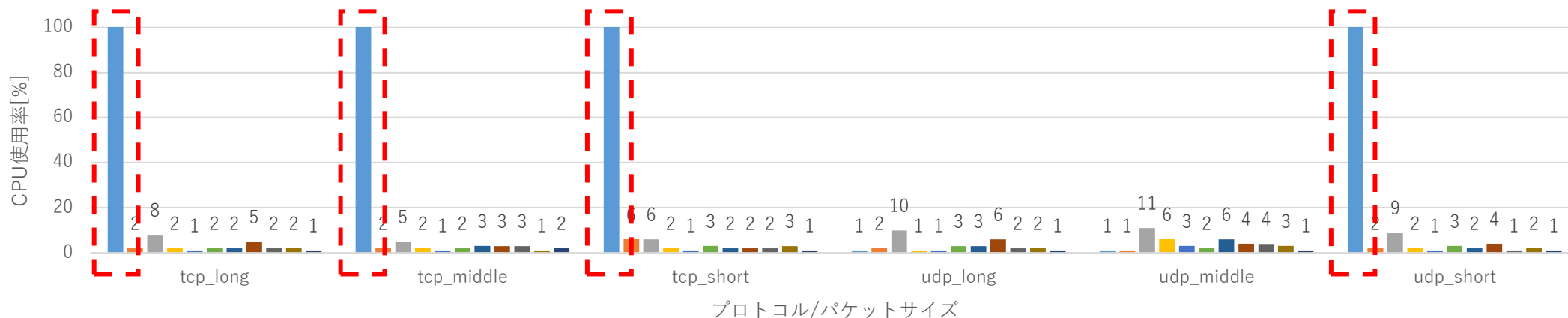
実線:UDP



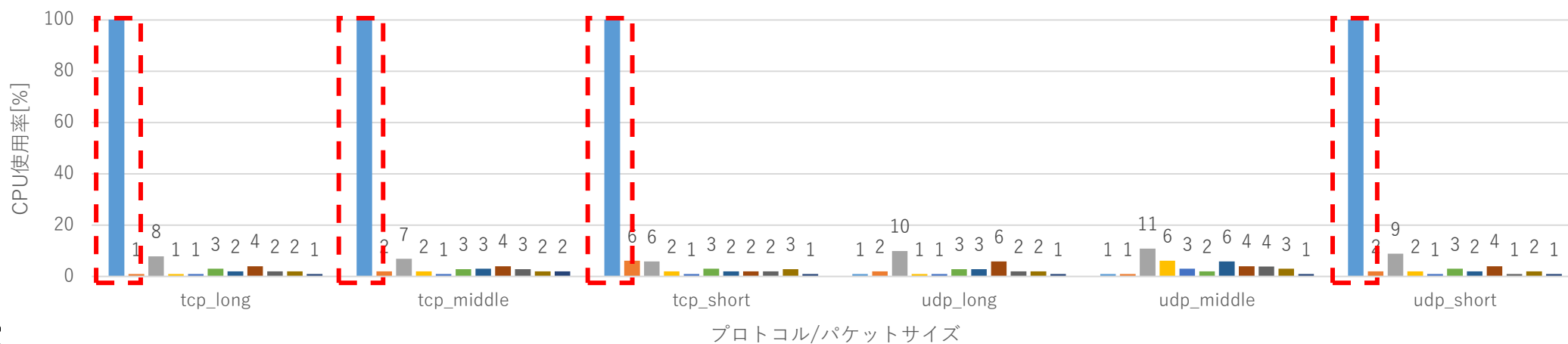
性能測定結果～U-Plane④～ CPU使用率（ピーク値）

free5GC v3.0.5リリースで解決とされていたUPFのCPU使用率が100%に張り付いてしまう問題について、**TCP通信、shortパケット時には改善されていないことが分かった。**
ただし、shortパケットについては単純にCPUが非力でenc/decが追い付いていない可能性もある。

双方向同時



片方向負荷

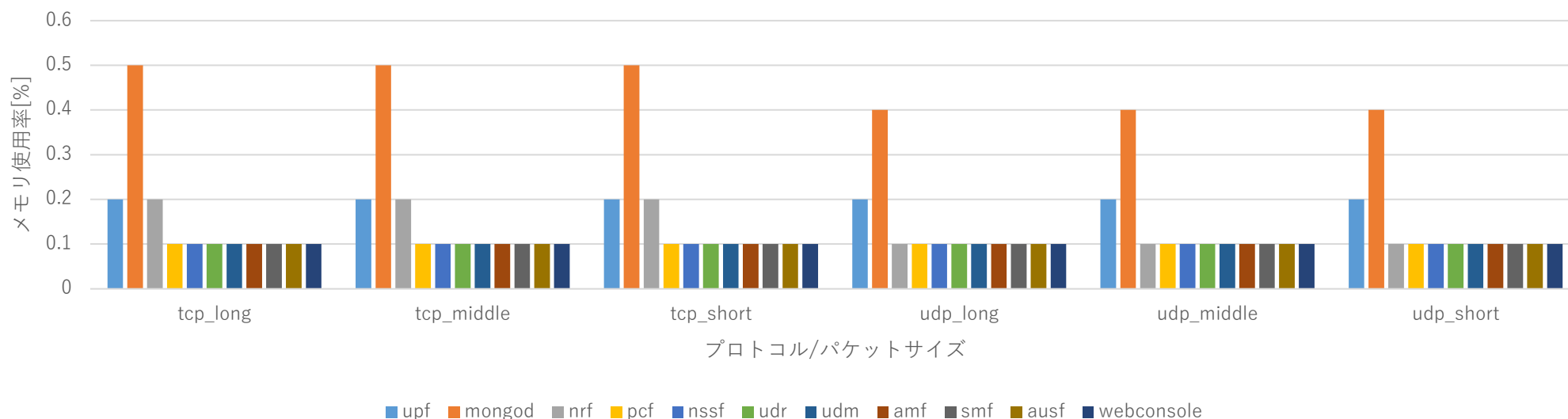


性能測定結果～U-Plane⑤～ メモリ使用率（ピーク値）

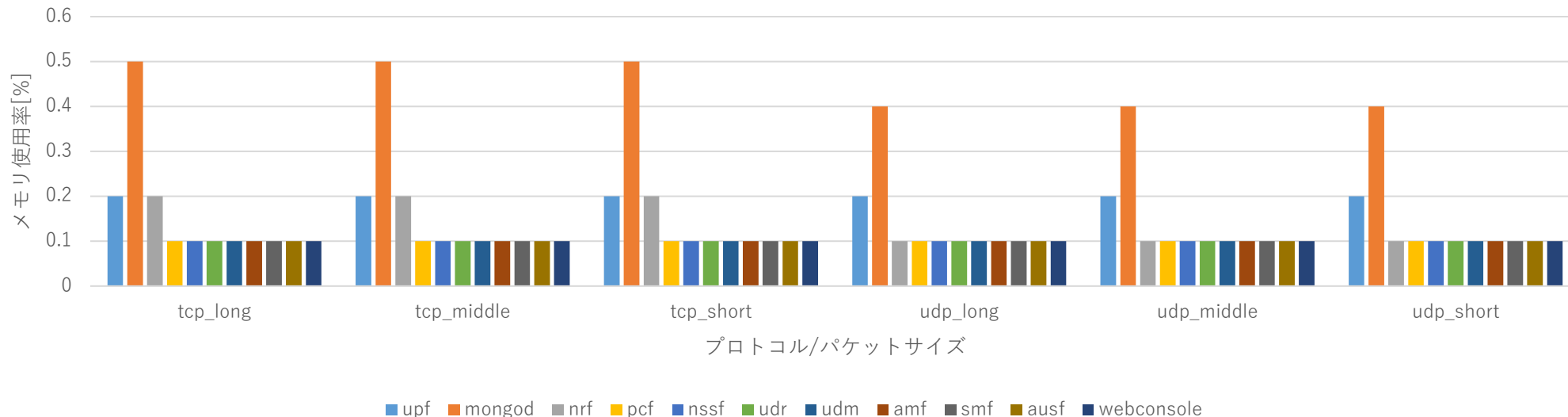
メモリについてはUPFにおいても多く使用することではなく、今回使用したサーバーと同じく**16GB程度あれば十分に動作させることができる**ことが分かった。

⇒今後、多端末接続時にどのように変化するかを調査したい。

双方向同時



片方向負荷

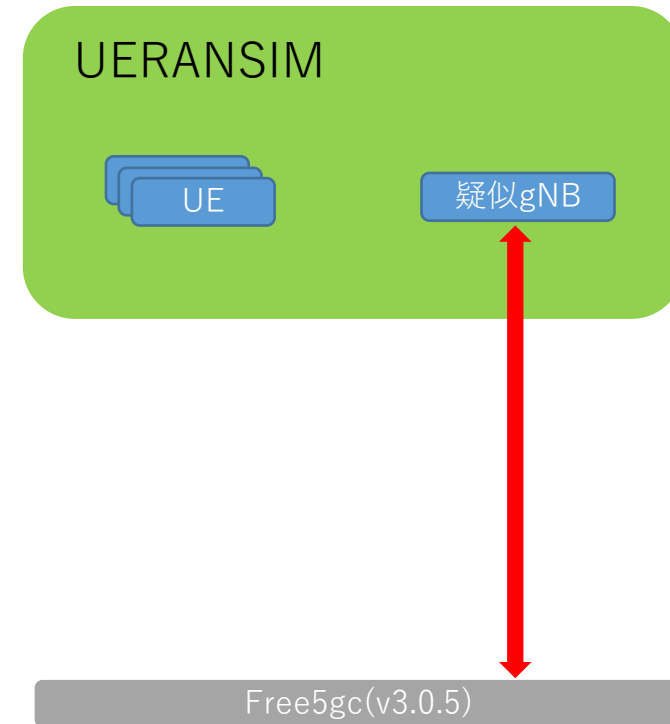


性能測定結果～C-Plane①～



端末1台を接続できることはわかっているけど、v3.0.5では端末は何台接続できるのだろう。

aligungr氏が公開しているUERANSIMを用いて、free5GCとの端末接続数を増やしながら上限値を検証



性能測定結果～C-Plane②～

現バージョンでは端末接続上限数は11台になる。
回避策としてutlt_buff.c内の値を調整することで12台以上の接続が可能となる。

現状



端末を11台までつなぐことができる

12台目をつなぐと以下のようなエラーがでる

```
2021-04-11T19:04:02Z [INFO][UPF][Utli] [PFCP] Handle PFCP session establishment request
2021-04-11T19:04:02Z [INFO][UPF][Utli] [PFCP] Session Establishment Response
2021-04-11T19:04:02Z [INFO][UPF][Utli] [PFCP] Handle PFCP session modification request
2021-04-11T19:04:02Z [INFO][UPF][Utli] [PFCP] Session Modification Response
2021-04-11T19:04:53Z [INFO][UPF][Utli] [PFCP] Handle PFCP session establishment request
2021-04-11T19:04:53Z [WARN][UPF][Utli] Pool is empty
2021-04-11T19:04:53Z [ERRO][UPF][Utli] bufPool64 is empty
2021-04-11T19:04:53Z [ERRO][UPF][Utli] UTLT_Malloc fail
```

回避策

Utlt_buff.c内のBUFBLK_POOL_64の値を変更

```
#include "utlt_buff.h"

#include <stddef.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdarg.h>
#include <errno.h>

#include "utlt_debug.h"
#include "utlt_pool.h"

#define MAX_NUM_OF_BUFBLK_POOL 256

#define MAX_NUM_OF_BUFBLK_POOL_64 128
```

128⇒2048に変更すると…

100台以上の端末をアタッチすることが可能（上限は未検証）

性能測定結果～C-Plane③～

上限になってしまうのはサーバー側のリソースが要因ではない。
⇒プログラム上でバッファをプールする容量に問題があることがわかった。

多端末接続時のhtopコマンド（CPU/RAMリソース使用率確認） 実行結果

| PID | USER | PRI | NI | VIRT | RES | SHR | S | CPU% | MEM% | TIME+ | Command |
|------|-----------|-----|----|-------|-------|-------|---|------|------|---------|--|
| 2058 | test | 20 | 0 | 32660 | 4956 | 3840 | R | 0.5 | 0.0 | 0:06.05 | htop |
| 748 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:04.54 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 2045 | test | 20 | 0 | 105M | 5296 | 4288 | S | 0.0 | 0.0 | 0:00.85 | sshd: test@pts/9 |
| 1833 | root | 20 | 0 | 708M | 21048 | 15860 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.47 | ./udr |
| 1962 | root | 20 | 0 | 701M | 15920 | 11448 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.14 | ./smf |
| 1956 | root | 20 | 0 | 701M | 17244 | 11572 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.08 | ./udm |
| 928 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:00.17 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 1126 | root | 20 | 0 | 707M | 21868 | 14496 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.85 | ./nrf |
| 1228 | root | 20 | 0 | 704M | 20168 | 13672 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.46 | ./amf |
| 1134 | root | 20 | 0 | 707M | 21868 | 14496 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.12 | ./nrf |
| 1535 | root | 20 | 0 | 707M | 19812 | 15184 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.43 | ./pcf |
| 1127 | root | 20 | 0 | 707M | 21868 | 14496 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.21 | ./nrf |
| 1128 | root | 20 | 0 | 707M | 21868 | 14496 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.15 | ./nrf |
| 1735 | root | 20 | 0 | 701M | 17244 | 11572 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.20 | ./udm |
| 1972 | root | 20 | 0 | 704M | 20168 | 13672 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.09 | ./amf |
| 1241 | root | 20 | 0 | 704M | 20168 | 13672 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.15 | ./amf |
| 2061 | root | 20 | 0 | 707M | 21868 | 14496 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.07 | ./nrf |
| 1835 | root | 20 | 0 | 708M | 21048 | 15860 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.13 | ./udr |
| 1435 | root | 20 | 0 | 698M | 12088 | 9216 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.09 | ./nssf |
| 1963 | root | 20 | 0 | 701M | 15920 | 11448 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.02 | ./smf |
| 1967 | root | 20 | 0 | 701M | 15920 | 11448 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.03 | ./smf |
| 1737 | root | 20 | 0 | 701M | 17244 | 11572 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.02 | ./udm |
| 1834 | root | 20 | 0 | 708M | 21048 | 15860 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.14 | ./udr |
| 949 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.5 | 0.6 | 0:02.06 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 1939 | root | 20 | 0 | 1660M | 35876 | 9344 | S | 0.0 | 0.3 | 0:00.20 | ./bin/free5gc-upfd |
| 1973 | root | 20 | 0 | 708M | 21048 | 15860 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.13 | ./udr |
| 935 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:00.42 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 926 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:00.40 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 1837 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:00.01 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |
| 1946 | root | 20 | 0 | 1660M | 35876 | 9344 | S | 0.0 | 0.3 | 0:00.12 | ./bin/free5gc-upfd |
| 659 | systemd-n | 20 | 0 | 80220 | 6044 | 5288 | S | 0.0 | 0.1 | 0:00.09 | /lib/systemd/systemd-networkd |
| 1537 | root | 20 | 0 | 707M | 19812 | 15184 | S | 0.0 | 0.2 | 0:00.10 | ./pcf |
| 1131 | mongodb | 20 | 0 | 1003M | 72624 | 34256 | S | 0.0 | 0.6 | 0:00.02 | /usr/bin/mongod --unixSocketPrefix=/run/mongodb --config /etc/mongodb.conf |

今後の取り組み

- ✓ free5GCについて異なるHWスペックでの評価を実施
- ✓ Open5GS, OAI, magmaについて性能測定・利用条件の具体化
⇒すでに測定などされてらっしゃる方いたらぜひ次回発表していただきたいと思います。

聞きたいこと

- ✓ ローカル5Gのユースケースでショートパケットってどこまで想定すべき？
- ✓ 多端末接続どの程度まで考えた方がよいか？（ユースケースを考えて最大でも5000台繋がればよいなど）
- ✓ バッファエラーとか性能不足とか発生した時に、どういう取り組みをするの？（例：自分で改修する, issueを上げる, 他のOSSと組み合わせる 等）
- ✓ こんな条件も測定したほうがよいのでは？とかあれば知りたい（アタッチ・デアタッチ繰り返し等）
- ✓ Open5GSやmagmaではどのくらいスループット出せるか？

悩み事・その他

- ✓ 手軽にUPFを高速化する方法.
（OSSだと「5G UPF based on VPP」とか？他にある？）