

精華町日時計回りでLTEをアクセス回線とした場合の通信特性

特定非営利活動法人けいはんなアバターチャレンジ 浅見徹

目標：2023年のせいか祭りにアバター4台を持ち込んだ時に、各アバターの回線特性を推定する。

手段：2022年11月20日にPCとスマホ¹のセットを4組、榊けいはんな前の日時計広場に持ち込み、テザリングによる通信特性の計測結果から推定し、2023年11月の競技設計に利用する。プロトコルは、Double Robotics社の市販アバターDouble 3を想定しWebRTC²とする。

I. 結論

LTEやLTE転用5Gを使う場合、1通信事業者辺り3台のアバター収容で実施すべきである。それ以上のアバターを使う場合は、別の通信事業者のSIMを用意する必要がある。理由は以下。

- (1) 往復遅延 (RTT)は4台程度つなぐと、平均53ms、最大80ms程度の通信遅延がある。ジッタも最大45ms程度と大きいので、最低50msできれば100ms程度のバッファを映像のエンコーダとデコーダの間に置く必要がある。
- (2) 接続端末が4台までなら、UPLINKに2Mbps程度を期待できる。

II. 測定サマリ

- ① 今回の背景トラヒックの場合、4台までならUPLINKで最小スループット2Mbps以上は確保できる。4台接続時のDOWNLINKの平均スループットは12Mbps、最小スループットは2.7Mbpsだった。
- ② Pingによる通信遅延は、台数が増えても平均値は若干増大する程度。4台利用時に53ms程度の通信遅延は覚悟すればいい。また最大値と最小値の差が30ms程度あるので、予期しないポールとの接触等、競技の勝敗に影響が出る可能性がある。うまい競技者が必ずしも勝てるとは限らないので、エンターテインメント性が上がるだろう。
- ③ Jitterは台数が増えるにつれて最大値が大きく上がっている。今回の背景トラヒックの場合、4台使うとすると、40ms程度のジッタは覚悟する必要がある。これは、

¹ スマホは、株式会社ドコモビジネスソリューションズ関西支社奈良支店のご厚意により貸していただきました。

² WebRTC (Web Real-Time Communication) は、ウェブブラウザやモバイルアプリケーションがリアルタイム通信するための通信プロトコルで、World Wide Web Consortium (W3C) や Internet Engineering Task Force (IETF) で標準化している。

うまい競技者が必ずしも勝てるとは限らないことになる。

- ④ WebRTC スループットが、4 台使用時に平均 1Mbps 程度は確保できていた。UPLINK は 2Mbps 出ていたので、Double3 の今の実装では、映像伝送アプリケーションまで含めると無線アクセス部 (RAN) の性能の 1/2 程度しか使い切れていないこと、640x480 の画像を 30fps で送ることはできることが分かった。今回はニュージャージーにあるサーバと通信した可能性が高く、スループットや安定性を求めるならば、STUN/TURN サーバ³は大阪に置くべきである。



図 1.1 測定場所 (けいはんなプラザ方向) : 実験者は特定非営利活動法人けいはんなアバターチャレンジの理事 3 名と、奈良女子大の学生。

III. 準備

1. 測定場所は(株)けいはんなの日時計回り。測定状況は図 1.1、図 1.2 の写真の通り。
2. 同一のキャリアのスマホを 4 台 (1 台は予備) 用意する (PC には番号を付ける)
3. ラップトップ PC とスマホを USB でつないで、テザリングで PC をインターネットにつないで測定する。

IV. 下記を PC の電源が持つ限り回繰り返す (測定時刻は 13 時ころと 15 時)

N 台の PC が使える場合、同時に測定する台数を 1, 2, …, N 台と増やして 1 サイクルとし、次のサイクル以降、PC の電源が持つ限りとする。

1. USEN のスピードテストをする

<https://speedtest.gate02.ne.jp/>

基本的に 4 台をヨウイドンで測定する。次のようなデータが取れる(ATR 社内から iPhone を使った au 経由で、LTE。2022 年 11 月 16 日)。



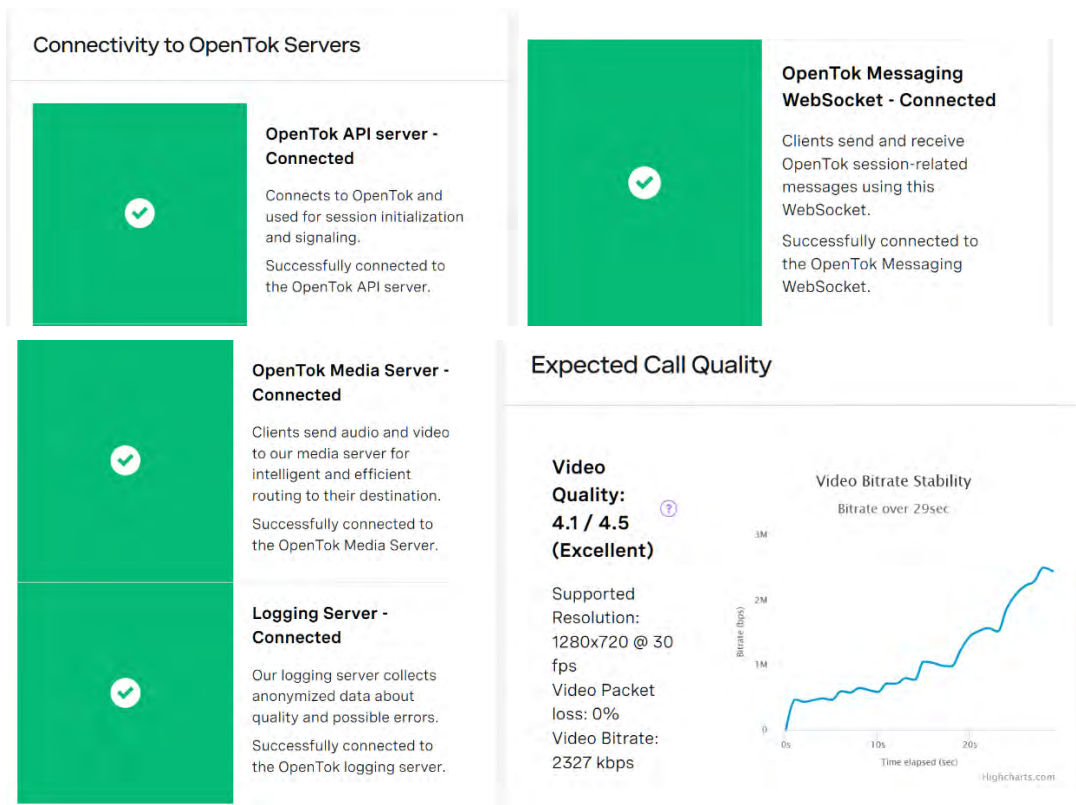
図 1.2 測定場所 (日時計方向)

³ 携帯電話網の割り当てる IP アドレスは、docomo につながった SORACOM ドングルの IPv4 アドレス を一例に挙げると 10.194.47.255 で、プライベートアドレス。来年競技を実施時には 3 キャリアにそれぞれ 3 人収容する構成が最大規模と考えられ、相互接続するために NAT 越え技術、特に STUN/TURN サーバを設置する必要がある。



- PrintSCRN⁴で画面をコピー
- ペイントに張り付け、ファイル名 (1, 2, 3, …といった番号で OK) を付けてセーブする
- Connectivity to OpenTok Servers への接続特性を調べる
<https://tokbox.com/developer/tools/precall/results>
 基本的に4台をヨウイドンで測定する。次のようなデータが取れる。

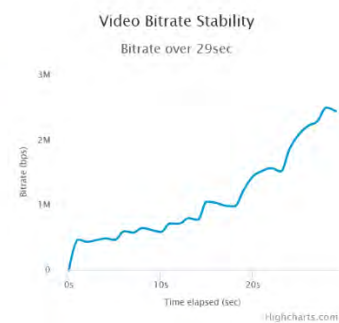
⁴ Windows マシンであれば、Windows+Shift+s キーを押すとマウスで範囲指定できるので便利



Expected Call Quality

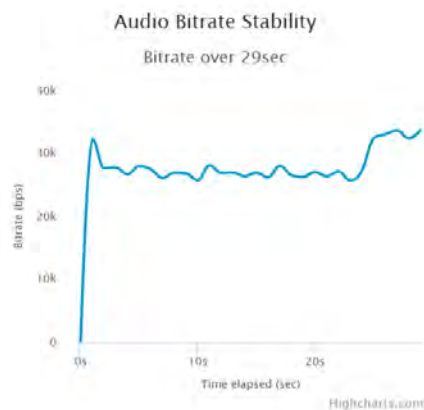
Video Quality:
4.1 / 4.5
(Excellent)

Supported Resolution:
1280x720 @ 30 fps
Video Packet loss: 0%
Video Bitrate:
2327 kbps



Audio Quality:
4.3 / 4.5
(Excellent)

Audio Packet loss: 0%
Audio Bitrate:
33 kbps



5. PrintSCRN⁵で画面をコピー
6. ペイントに張り付け、ファイル名（1, 2, 3, …といった番号でOK）を付けてセーブする
7. ペイントファイルを集める（PC番号&スマホ機種を明記のフォルダに入れる⁶）

⁵ Windows マシンであれば、Windows+Shift+s キーを押すとマウスで範囲指定できるので便利

⁶ 日時はファイル作成時で分かるので不要

V. 測定サーバについて

1. USEN のスピードテスト用サーバについて

Domain Information: [ドメイン情報]⁷

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| a. [ドメイン名] | GATE02.NE.JP |
| b. [ねっとわーくさーびすめい] | ゆうせんげーとぜろつー |
| c. [ネットワークサービス名] | ユウセンゲートゼロツ |
| d. [Network Service Name] | USEN GATE02 |
| k. [組織種別] | ネットワークサービス |
| l. [Organization Type] | Network Service |
| m. [登録担当者] | HY30834JP |
| n. [技術連絡担当者] | HY30834JP |
| p. [ネームサーバ] | ns11.usen.com |
| p. [ネームサーバ] | ns12.usen.com |
| p. [ネームサーバ] | ns13.usen.com |
| s. [署名鍵] | |
| [状態] | Connected (2023/03/31) |
| [登録年月日] | 2006/03/14 |
| [接続年月日] | 2006/03/16 |
| [最終更新] | 2022/04/01 01:12:02 (JST) |

```
$ nslookup speedtest.gate02.ne.jp
サーバー: UnKnown
Address: 172.20.10.1
```

```
権限のない回答:
名前: speedtest.gate02.ne.jp
Addresses: 2400:f400:1201:4::1157
125.63.35.157
```

```
$ traceroute 125.63.35.157
```

```
125x63x35x157.rev.usen.com [125.63.35.157] へのルートをトレースしています
経由するホップ数は最大 30 です:
```

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|--|
| 1 | 61 ms | 56 ms | 57 ms | 169.254.252.114 |
| 2 | * | * | * | 要求がタイムアウトしました。 |
| 3 | 58 ms | 49 ms | 64 ms | 133.208.191.165 |
| 4 | 68 ms | 45 ms | 56 ms | as24278.ix.jpix.ad.jp [210.171.224.186] |
| 5 | 50 ms | 57 ms | 68 ms | 125x63x32x118.rev.usen.com [125.63.32.118] |
| 6 | 51 ms | 58 ms | 65 ms | 125x63x35x157.rev.usen.com [125.63.35.157] |

トレースを完了しました。

JPNIC の IP アドレス検索⁸から、プライベートアドレス網 (169.254.252.114) からビッグロブ株式会社の 133.208.191.165 に出て、JPIX (210.171.224.186) 経由で USEN (125.63.35.157) につながっている。大阪データセンター内に置いてある既知のサーバとの遅延と同程度であること、169.254.252.114 から 125.63.35.157 の遅延はほとんど同じなので、おそらくすべて大阪のデータセンター内にあると考えられる。遅延のほとんどは携帯電話網内の遅延であることが分かった。

2. WebRTC のテスト用サーバについて

⁷ <https://whois.jpns.jp/>

⁸ <https://www.nic.ad.jp/ja/application.html>

接続先の tokbox.com は whois⁹で検査すると以下。

```

Domain Name: TOKBOX.COM
Registry Domain ID: 85987793_DOMAIN_COM-VRSN
Registrar WHOIS Server: whois.markmonitor.com
Registrar URL: http://www.markmonitor.com
Updated Date: 2021-08-10T04:20:32Z
Creation Date: 2002-04-26T08:13:23Z
Registry Expiry Date: 2024-04-26T08:13:23Z
Registrar: MarkMonitor Inc.
Registrar IANA ID: 292
Registrar Abuse Contact Email: abusecomplaints@markmonitor.com
Registrar Abuse Contact Phone: +1.2086851750
Domain Status: clientDeleteProhibited https://icann.org/epp#clientDeleteProhibited
Domain Status: clientTransferProhibited https://icann.org/epp#clientTransferProhibited
Domain Status: clientUpdateProhibited https://icann.org/epp#clientUpdateProhibited
Name Server: NS-1295.AWSDNS-33.ORG
Name Server: NS-1925.AWSDNS-48.CO.UK
Name Server: NS-36.AWSDNS-04.COM
Name Server: NS-671.AWSDNS-19.NET
DNSSEC: unsigned
URL of the ICANN Whois Inaccuracy Complaint Form: https://www.icann.org/wicf/
>>> Last update of whois database: 2022-11-28T06:56:23Z <<<

```

```

$ nslookup tokbox.com
サーバー: UnKnown
Address: 172.20.10.1

```

```

権限のない回答:
名前: tokbox.com
Address: 168.100.113.118

```

また、IP アドレスは ICANN によれば¹⁰、Vonage Business Inc. が持っている。

TOKBOX.COM Vonage America LLC : Vonage (legal name Vonage Holdings Corp.) is an American cloud communications provider operating as a subsidiary of Ericsson. Headquartered in Holmdel Township, New Jersey, the organization was founded in 1998 as Min-X as a provider of residential telecommunications services based on voice over Internet Protocol (VoIP). In 2001, the organization changed its name to Vonage.

上記から、米国ニュージャージー州にあるサーバと考えられる。Ping エコーは返らないので、インターネット上の距離は不明である。

VI. 実験結果

実験にあたっては、4 台の PC から同時計測するという形で測定し、1 台、2 台、3 台、4 台と台数を増やし、このサイクルを 3 回弱実施した。最後の 13-15 回は電池切れで測定から脱落した PC を除いた構成で測定している。この同時計測回数は、全端末合わせて以下である。

| 同時接続台数 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---|---|----|----|
| サンプル数 | 4 | 8 | 12 | 13 |

1. USEN のスピードテスト結果

➤ UPLINK 特性

縦軸を各 PC のスループット、横軸を同時計測台数として表示したものが、図 3.1

⁹ <https://lookup.icann.org/en/lookup>

¹⁰ <https://lookup.icann.org/en>

である。太い実線は平均値、黄色い実線が最小スループットである。平均値には標準偏差をつけている。台数が増えるにつれて平均値も最小値も減少するが、今回の背景トラフィックの場合、4台までなら UPLINK で 2Mbps 以上はかなりの確率で確保できる。

➤ **DOWNLINK 特性**

同様に、DOWNLINK の特性を示したものが、図 3.2 である。台数が増えるにつれて平均値も最小値も減少するが、今回の背景トラフィックの場合、4台まで 2.7Mbps 以上を確保できていた。

➤ **Ping 特性**

縦軸を各 PC の Ping 値、横軸を同時計測台数として表示したものが、図 3.3 である。太い実線は平均値、赤い実線が最大値、黄色い実線が最小値である。平均値には標準偏差をつけている。台数が増えるにつれて平均値は若干増大する。今回の背景トラフィックの場合、4台使うとすると、53ms 程度の通信遅延は覚悟する必要がある。また最大値と最小値の差が 30ms 程度あるので、競技の勝敗に影響が出る可能性がある。うまい競技者が必ずしも勝てるとは限らないので、エンターテインメント性が上がるだろう。

➤ **Jitter 特性**

縦軸を各 PC の Jitter、横軸を同時計測台数として表示したものが、図 3.4 である。太い実線は平均値、赤い実線が最大値、黄色い実線が最小値である。平均値には標準偏差をつけている。台数が増えるにつれて平均値は減少するが、最大値は上がっている。今回の背景トラフィックの場合、4台使うとすると、40ms 程度のジッタは覚悟する必要がある。

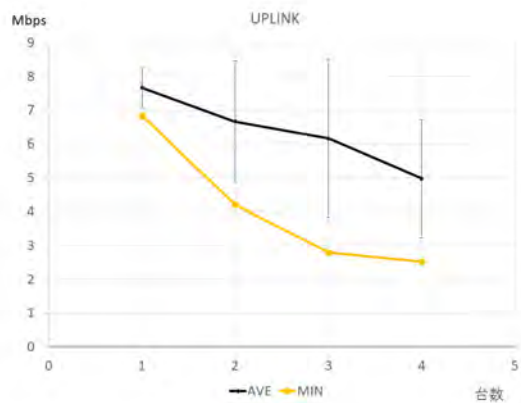


図 3.1 UPLINK スループット

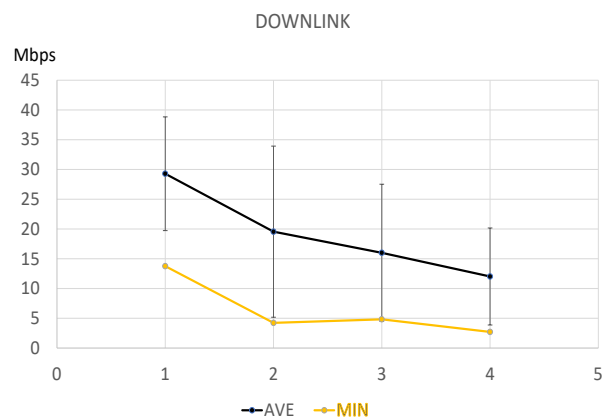


図 3.2 DOWNLINK スループット

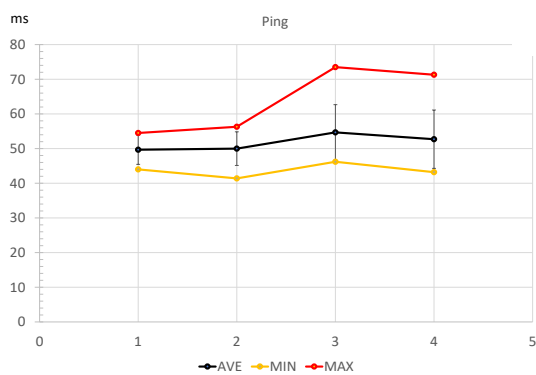


図 3.3 通信遅延(Ping)

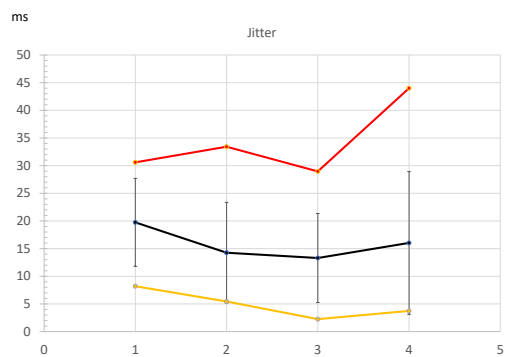


図 3.4 Jitter

2. WebRTC のスピードテスト結果

縦軸を各 PC の WebRTC スループット、横軸を同時計測台数として表示したものが、図 3.5 である。太い実線は平均値、黄色い実線が最小スループットである。平均値には標準偏差をつけている。台数が増えるにつれて平均値は減少するが、最小値は上がっている。これは最初 PC の映像処理が遅かった端末があったためである。今回の背景トラフィックの場合、4 台まで 1Mbps 程度は確保できていた。UPLINK が 2Mbps 出ているので、Double3 の今の実装では、アプリケーションまで含めると RAN の性能の 1/2 程度しか使い切れていないこと、640x480 の画像を 30fps で送ることはできることが分かった。なお、全台数の全 WebRTC 試行回数は 34 回であったが、1280x720 が 12 例、640x480 が 19 例、320x240 が 3 例であった。

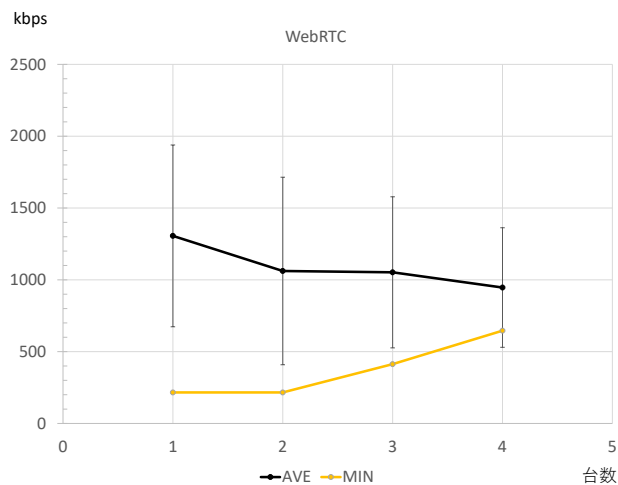


図 3.5 WebRTC

以上