

5G 産業用途アプリケーションに 求められる高精度な遅延測定

~PC による Ping との比較~

ネットワークマスタ プロ MT1000A

目次

1	はじめに	2
2	遅延測定の方法	3
3	Ping と測定器による遅延測定結果の比較実験.....	5
4	まとめ.....	9

1 はじめに

5G は高速通信、高信頼・低遅延、多数同時接続の三つのユースケースを実現するモバイル通信規格です。中でも高信頼・低遅延は 5G を大きく特長づけるものです。このユースケースにより、スマートフォンなどによる「人と人のコミュニケーション」だけでなく、「機械同士の制御通信」が可能になり、産業分野での 5G 利活用が進んでいます。

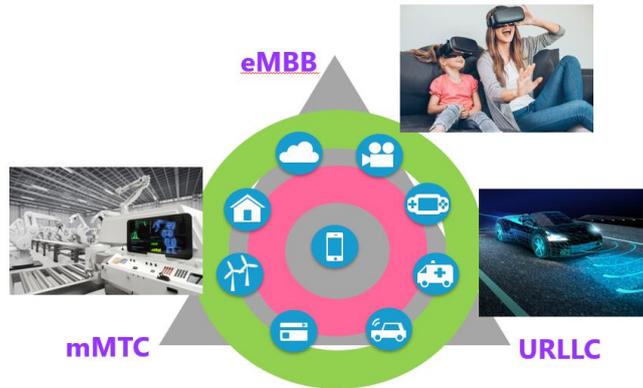


図 1 5G の三つのユースケース

3GPP 規格では Release15 から Release 16 にかけて、無線リンクにおける遅延を小さくする仕組みが、順次規格化されています。主なものを以下に示します。

表 1 低遅延を実現する無線アクセス技術

技術	概要
通信周期の短縮	LTE では 1 ms 固定だったデータの送信周期（スロット）を、最小 125 μ s までに選択可能にすることで、送信の待ち時間の短縮を図る。
プリスケジューリング	端末が、基地局からの送信許可（グラント）を待たずに送信を開始する方式
割り込み送信	緊急性の高いデータを、定常スケジュールに割り込んで送信する方式

これらのアクセス方式により、5G 無線リンクにおける通信遅延の低減が実現されます。

しかし、ミッションクリティカルな産業用途では、遅延が小さいだけでは十分ではありません。たとえ遅延が「平均的に」小さくとも、遅延の揺らぎが大きい場合、制御信号が到達するタイミングの予見性が保てません。電車で例えるならば、ごく稀に 10 分早かったり遅れたりするが平均的に時刻表どおりに到着する路線と、常に 3 分だけ遅れる路線では、後者の方が使い勝手が良いと言えます。機械制御システムにおいては通信の予見性、リアルタイム性が重要です。

遅延の増大や揺らぎを引き起こす原因は、無線リンクだけにあるとは限りません。産業分野のアプリケーションが求める通信品質を評価するには、システムを組み上げてエンドツーエンドでの遅延を測定し、遅延量および遅延の揺らぎ、すなわちパケットジッタを評価することが重要です。

本アプリケーションノートでは、測定器によるエンドツーエンド遅延測定ソリューションを説明します。

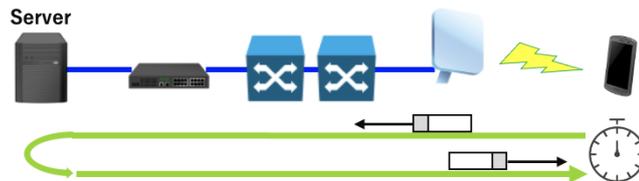
2 遅延測定の方法

2.1 往復遅延と片方向遅延

本アプリケーションノートで扱う遅延は、一つの IP パケットに格納されたユーザデータが、端末を出発してから、通信相手（端末、またはサーバー等）に届くまでに費やした時間を指します。遅延には往復遅延と片方向遅延があります。

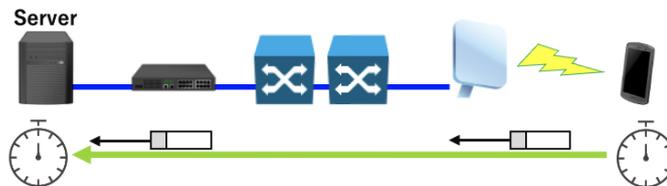
1) 往復遅延 (Round Trip Time)

端末から送信したデータが、サーバー等で折り返って戻って来るまでに要する時間。測定するために必要な時計は一つです。



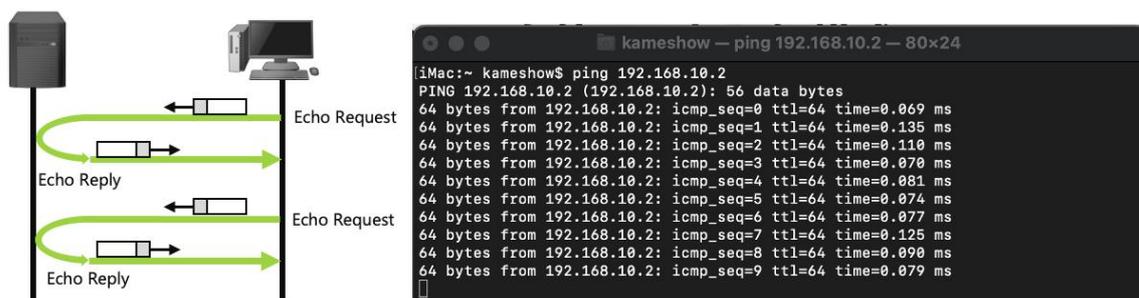
2) 片方向遅延 (One Way Delay)

端末から送信したデータが、サーバーなどに到達するのに要する時間。測定するために必要な時計は二つになります。



2.2 Ping による遅延測定

Ping は最も手軽な遅延測定手段として普及しています。PC など、IP 通信をサポートするほとんどのすべてのデバイスで、追加するソフトウェアもなく、Ping を使った遅延測定をすることができます。

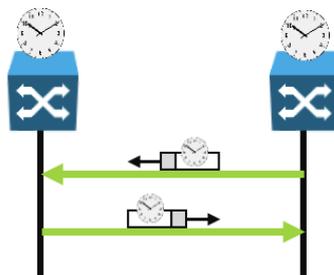


上の例は PC を使った Ping の例です。ターミナル画面から Ping コマンドを実行すると、Echo Request が送信されます。これを受信したデバイスは Echo Reply を返します。この時間差を遅延測定結果としています。

PC では Echo Request の送信間隔を最小 100 ms まで設定することができます。

2.3 専用ツールによる遅延測定

Ping では往復遅延しか測ることができません。RFC5357 で規定される TWAMP が片方向遅延に対応しています。TWAMP では、パケット内にタイムスタンプを打刻することで片方向遅延を測ることができます。



前提として両端の時計が一致している必要があります。時計のずれが測定誤差に直結します。TWAMP 対応のツールは一般的にはルーターや NID(Network Interface Device)などのネットワーク専用機器でサポートされています。機器間の時計を同期するために、主に NTP(RFC 5905)が使われています。

TWAMP に対応した機器の代わりに、Ethernet/IP 分野の測定器を使うこともできます。アンリツではネットワークマスタプロ MT1000A を用意しています。MT1000A はバッテリーで動作するポータブルな測定器です。タッチパネル LCD 搭載なので、場所を選ばず測定することができます。2 台の MT1000A の時計を GPS で高精度に同期することもできます。



図 2 ネットワークマスタ プロ MT1000A

3 Ping と測定器による遅延測定結果の比較実験

ここでは、実験用のローカル 5G ネットワークを使った遅延測定結果を解説します。PC による Ping を使った場合と、MT1000A を使った場合とを比較します。

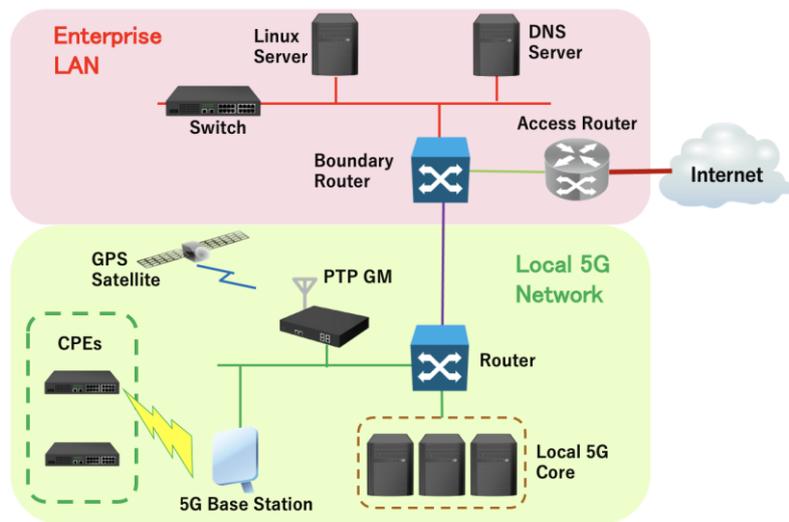


図3 実験ローカル 5G ネットワーク

3.1 Ping を用いた往復遅延測定

まず、無線リンクを挟む前後で、PC による Ping を使って往復遅延をそれぞれ測定しました。PC は、一般的なオフィス向けの市販 Windows PC で、カスタマイズなどはしていません。

- 1) 無線リンクなし、直結構成における往復遅延測定



- 2) 無線リンクを含む構成における往復遅延測定

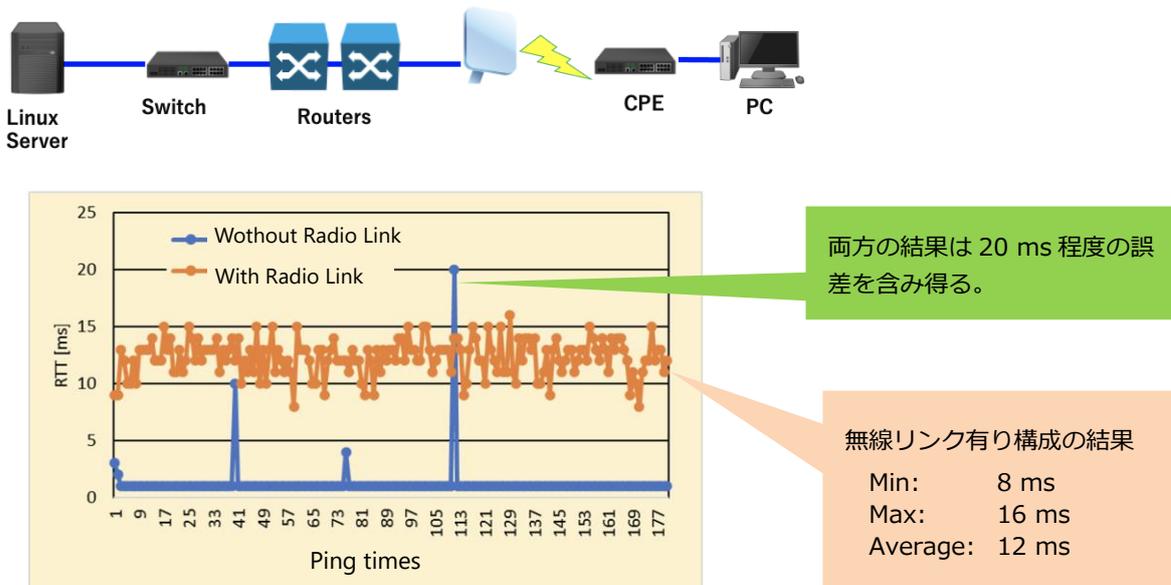
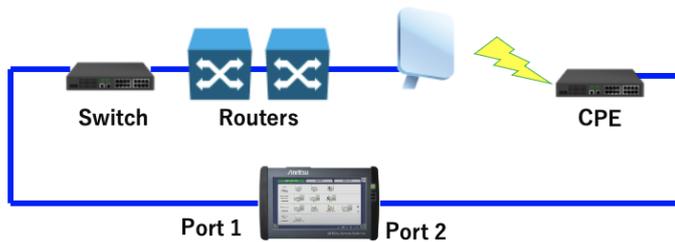


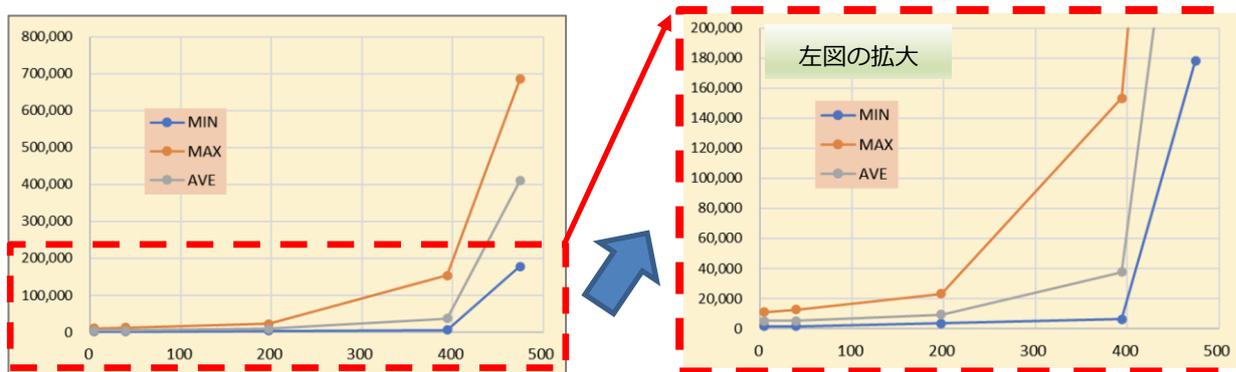
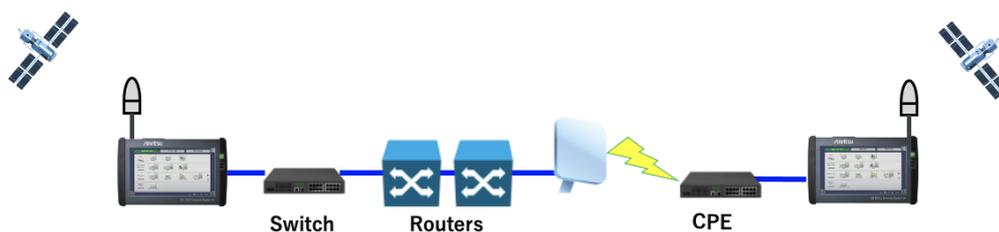
図4 Ping による往復遅延測定結果

3.2 MT1000A を用いた片方向遅延測定

次に、無線リンクを含む構成にて、MT1000A を使って上り下りそれぞれの片方向遅延を測定しました。試験トラフィックには UDP を使いました。パケットサイズは 1482 バイト固定です。

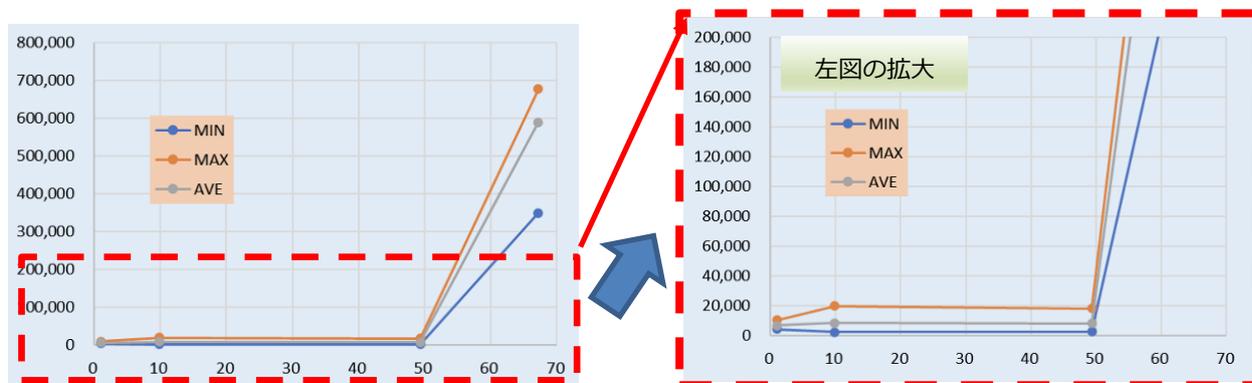


実験室の場合は上の系が可能ですが、屋外など両端の距離がある場合は、以下のように GPS を用いた測定も可能です。この場合の時刻同期誤差は最大 $\pm 2 \mu\text{s}$ です。(GPS レシーバに当社 G0325A を使用した場合)



縦軸：遅延(マイクロ秒)、横軸：平均スループット(Mbps)

図 5 MT1000A による下り遅延測定結果 (UDP, パケットサイズ 1482 バイト)



縦軸：遅延(マイクロ秒)、横軸：平均スループット(Mbps)

図 6 MT1000A による上り遅延測定結果 (UDP, パケットサイズ 1482 バイト)

Ping とは異なり、MT1000A による測定ではタイムスタンプを持つ測定用パケットを送信する際に、トラフィック負荷量を正確に指定できます。図 5 と図 6 の結果からわかるように、遅延はトラフィック負荷量に依存しています。下りは 200 Mbps 近辺から遅延の劣化が始まり、400 Mbps 近辺を超えると遅延が極端に大きくなっている様子がわかります。上りも同様に 10 Mbps と 50 Mbps 近辺に変化点を確認できます。

Ping の場合は、1 秒間に高々 10 個のパケットが往復する負荷量のため、良好な測定結果が得られる傾向にあります。一方、MT1000A では実際の通信負荷に合わせた評価が可能です。

3.3 Ping と MT1000A による遅延測定結果の比較

以下に、PC による Ping と MT1000A とのそれぞれの測定結果を比較します。MT1000A の測定結果は下りと上りの合計を往復時間としています。

表 2 遅延測定結果の比較

		遅延 (ミリ秒)			実際の通信負荷に合わせた評価	上下個別の遅延測定
		最小	最大	平均		
Ping	往復遅延	8	16	12.2	不可	不可
MT1000A	往復遅延	6.007 335	21.565 935	12.056 347	可能	可能
	下り (4 Mbps)	1.543 360	11.091 595	5.178 793		
	上り (1 Mbps)	4.463 975	10.474 340	6.877 554		

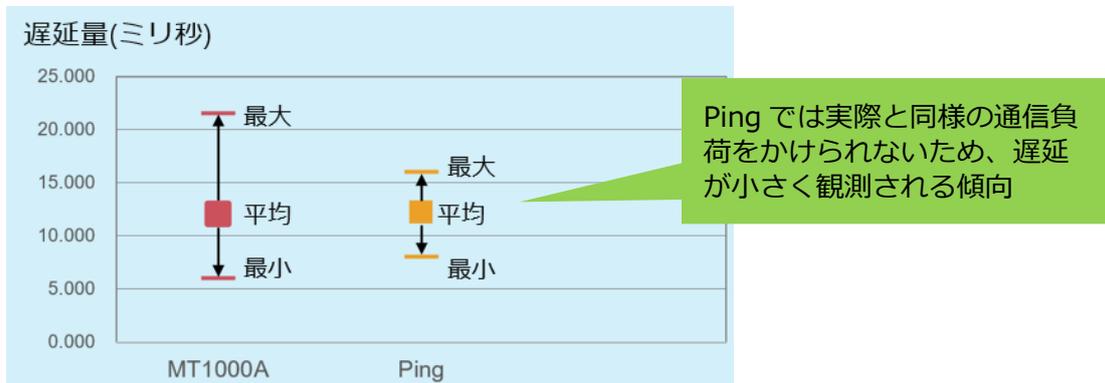


図 7 遅延測定結果の比較

両者の平均値はほぼ同じです。しかし、最小・最大値に大きな開きがあります。これは前述したトラフィック負荷の違いによるものと推察されます。

また、図 4 に示されているように、Ping の場合は PC の性能や稼働状況（他のアプリケーション起動の有無）によって不正に大きな遅延結果を得てしまう可能性があります。これは、高性能な PC を使ったり、PC のネットワークインタフェースをチューニングしたりすることで、抑制することができます。しかし、その場合も所望のトラフィック負荷を印加するには別途ツールが必要ですし、狙った負荷量を精度良く生成するための工夫が必要です。

3.4 フレームロスとパケットジッタの関係、フレームサイズと遅延の関係

MT1000A を使うことで、遅延に関してより詳細に分析することができます。以下にパケットサイズを変えてみた結果を示します。

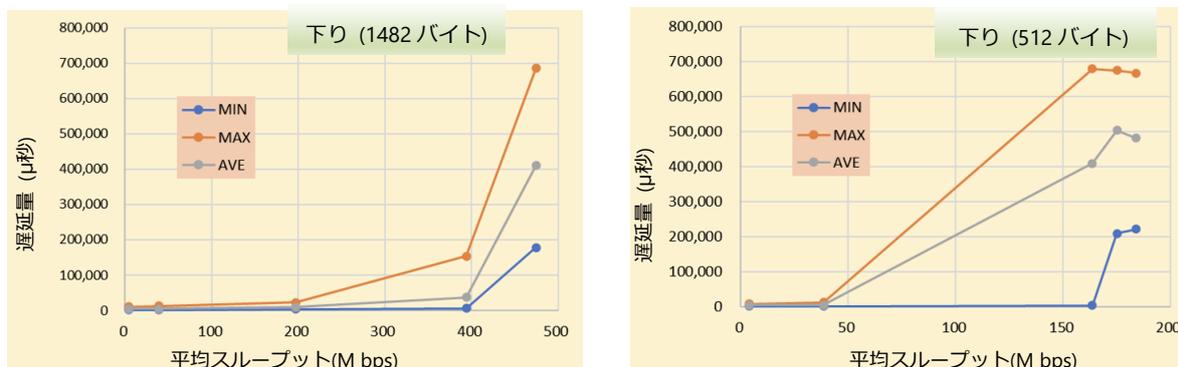


図8 下り遅延測定結果 (UDP, パケットサイズ 左:1482 バイト、右:512 バイト)

パケットサイズが小さい方が、同一スループットにおける遅延が大きくなっています。これはパケットサイズが小さいと単位時間あたりのフレーム数が増えることが関係していると推察されます。

今度は、トラフィック負荷量とフレームロス率、パケットジッタとを関係づける測定結果を示します。

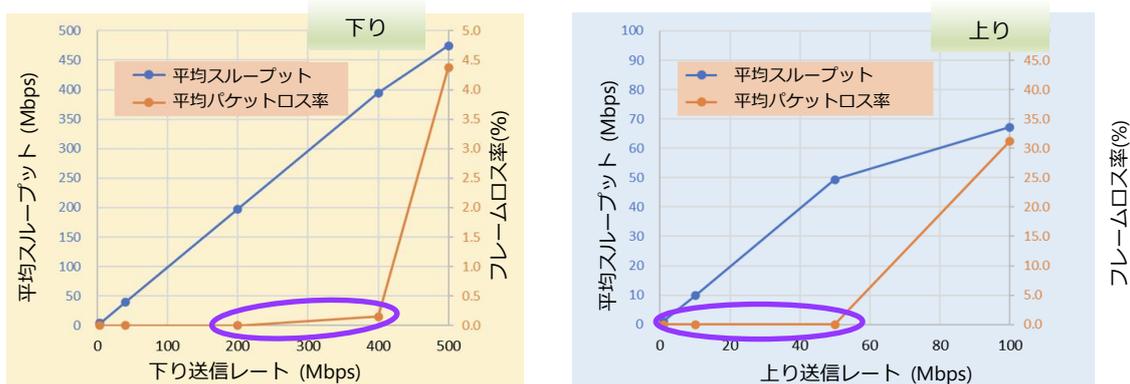


図9 トラフィック負荷量と、スループット&パケットロス率 (UDP, パケットサイズ 1482 バイト)

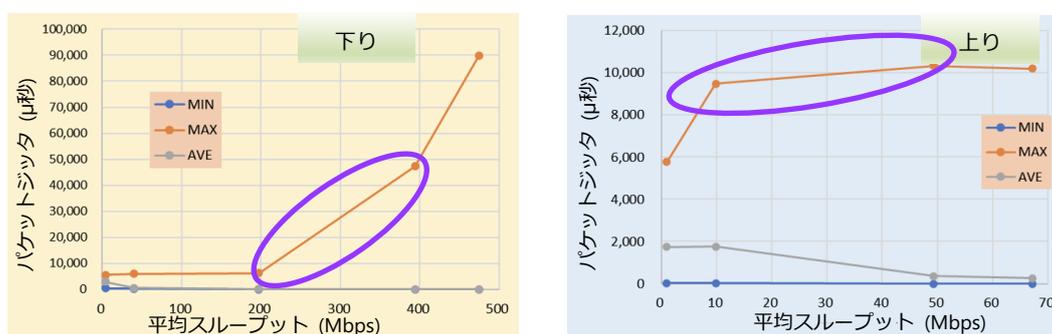


図10 スループットとパケットジッタ (UDP, パケットサイズ 1482 バイト)

トラフィック負荷が増大すると無線リンクでの再送が発生し、それが引き金になってパケットジッタが大きくなっている様子がわかります。図9と図10上の紫の囲いで示す部分では、フレームロス率が低いのに関わらず、パケットジッタが大きくなっていることから、無線リンクでの再送が起きている様子が推察できます。

4 まとめ

本アプリケーションノートでは、産業分野向け 5G 通信システムの評価にとって重要な遅延およびパケットジッタ測定について、専用測定器である MT1000A の利点を説明しました。

項目	Ping による測定	MT1000A による測定
コスト	安い	PC より高価
測定精度	1 ms～100 μ s 程度	100 ns 精度
上下個別の遅延測定	不可	可能
実際の通信負荷に合わせた評価	困難	容易に可能

高性能な無線通信システムを実現するための課題は、マルチパスなどさまざまな周辺環境の制御にあります。比較的コントロールが可能な有線通信部分は専用の測定器を使えば再現性を確保することができます。そうすることで無線側の課題解決に集中することができます。有線側の測定やトラフィック生成には MT1000A のご使用を推奨いたします。

アンリツは、無線と有線双方の測定ノウハウを有するソリューションベンダとして、今後ともお客様のビジネスに貢献できるトータルソリューションを提供して参ります。

アンリツ株式会社

<https://www.anritsu.com>

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111
厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5
通信計測営業本部 TEL 046-296-1244 FAX 046-296-1239
通信計測営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 S S 3 0
通信計測営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
名古屋 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル
通信計測営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル
通信計測営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア
通信計測営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

ご使用前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

2104

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。

通信計測営業本部 営業推進部

TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)
受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。
また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。