

# バイキャストを用いたモバイル環境の通信品質改善手法の提案と VoIP による評価

吉岡 顕<sup>†</sup> 渡部 聡彦<sup>†</sup> 楠田 友彦<sup>††</sup> 井上 治晃<sup>†</sup> 西川 真<sup>†</sup>  
永見 健一<sup>††</sup> 中川 郁夫<sup>††</sup>

† トヨタ IT 開発センター  
〒 107-0052 東京都港区赤坂 6-6-20  
†† インテック・ネットコア  
〒 136-0075 東京都江東区新砂 1-3-3

E-mail: †{yoshioka,nabe,ha-inoue,nishikawa}@jp.toyota-itc.com, ††{kusuda,nagami,ikuo}@inetcore.com

あらまし 移動するクルマといったモバイル環境における通信の不安定さを補う技術としてバイキャスト技術が有望と筆者らは考える。従来、このような通信品質改善手法を評価する場合、パケット到達率、往復遅延時間といった単純な指標を用いて議論することが多かった。しかし、実際に実現したいことは、(通信を利用する)アプリケーションレベルでの安定性改善であり、上記指標の改善とそれとは一致しない可能性もある。そこで、筆者らは VoIP を例にとり、音声品質の評価値である MOS 値を測定し、バイキャスト技術の適用がアプリケーションレベルでの品質向上にどのように寄与しているのかについて実験的に評価したので報告する。

キーワード マルチホーム、バイキャスト、通信品質、VoIP、MOS 値

## Quality improvement by using bicast and the evaluation with VoIP

Akira YOSHIOKA<sup>†</sup>, Toshihiko WATANABE<sup>†</sup>, Tomohiko KUSUDA<sup>††</sup>, Harumitsu INOUE<sup>†</sup>,  
Makoto NISHIKAWA<sup>†</sup>, Kennichi NAGAMI<sup>††</sup>, and Ikuo NAKAGAWA<sup>††</sup>

† Toyota InfoTechnology Center, Co., Ltd.  
Akasaka 6-6-20, Minato-ku, Tokyo 107-0052  
†† Intec NetCore Inc.  
Shinsuna 1-3-3, Koto-ku, Tokyo 136-0075

E-mail: †{yoshioka,nabe,ha-inoue,nishikawa}@jp.toyota-itc.com, ††{kusuda,nagami,ikuo}@inetcore.com

### 1. はじめに

近年の Internet の急速な普及に伴い、移動するクルマ内においても Internet を用いたアプリケーション利用の要求が高まってきた。しかし、特にクルマのように移動速度が大きいモバイル環境においては、無線接続状態の変化により通信が不安定になりやすい。

そこで、本稿では、これを補う技術として、バイキャスト技術を用いることを提案する。これは、永見らが開発してきたエンドサイト・マルチホーム技術 [1], [2] をもとに利用可能な複数の無線リンクすなわち経路に対し、パケットを重複して送ることによりパケットロスに対する耐性を向上させるものである。

また、Internet における通信品質について議論する場合、多様なアプリが動作する Internet において全ての通信に共通な特性として、パケットロス率、往復遅延時間、そのゆらぎ(ジッタ)といった単純な指標で評価することが多い。一方、実際に実現したいのは、通信を利用するアプリケーションにおいて安定性が向上していることであり、上記のパラメータの測定において'いい値'であることがアプリケーションにどのような'いい'影響を与えるかは必ずしもきちんと解明されていないことが多い。そこで本稿では、アプリケーションとして VoIP を例により、音声品質の評価値である MOS 値を測定し、パケットロス率、往復遅延時間、遅延ゆらぎといった単純な指標における評価との比較を行ったので、ここに報告する。

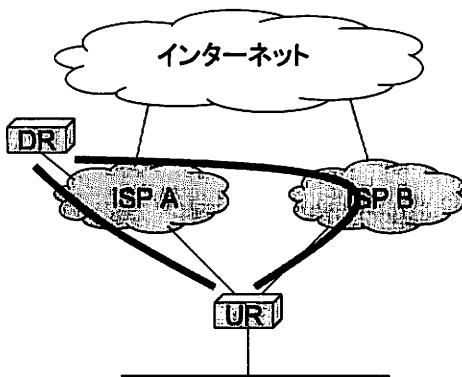


図1 エンドサイトマルチホーム技術

## 2. マルチホーム技術に基づくバイキャストの提案

### 2.1 エンドサイトマルチホーム技術

永見らは、Mobile IP [3], [4], NEMO [5] をベースに中小規模ネットワークに適用可能なマルチホーム技術を開発してきた。これは、図1に示すように以下の技術を持つものである。

- センター側とエンドサイト側の両者にそれぞれ専用のルータを設置
- エンドサイト側ルータ (User Router, 以下 UR と略す) を複数のプロバイダに接続し、両ルータ間に複数の経路が利用可能な状態を用意
- センター側ルータ (Distribution Router, 以下 DR と略す) では、それぞれの経路の状態を確認しつつ、各プロバイダから割り当てられた UR のアドレス (Mobile IP あるいは NEMO における Care of Address) の一方を選択し、そのアドレスを指定した GRE (Generic Routing Encapsulation) トンネルを用いてパケットを送出
- UR では、それぞれの経路の状態を確認しつつ、適切な経路 (ネットワークインターフェース) を選択し、DR のアドレスを指定した GRE トンネルを用いてパケットを送出

この仕組みにより、一方の経路に障害が発生した場合においても、センター側とエンドサイト側の到達性を維持することが可能になる。

### 2.2 バイキャストのための拡張

本稿では、上記をベースに以下の拡張を行い、複数の経路への送信を行うバイキャストを実現する。

- 送信側ルータで、利用可能な複数の経路に対し重複してパケットを送出
- 受信側ルータで、複数到着するパケットの同一化処理をし、支線 LAN 側に対し、単一のパケットを送信

本手法では、DR-UR 間でのみバイキャストを行うため、各アプリケーションにバイキャストのための特別なコーディング

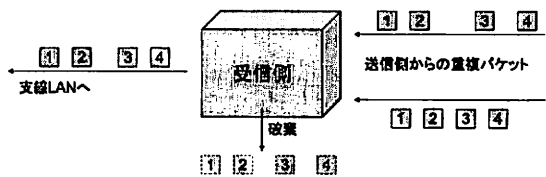


図2 バイキャストのための拡張

を行うことなく既存のアプリケーションをそのまま利用できる。

本開発にあたり、新たに DR あるいは UR に、パケット複製機能と重複パケット処理機能を追加した。(図2参照) パケット複製機能は、パケットの送信側で利用する機能で、支線 LAN から受信した単一パケットを複製し、受信側への各経路に送信する処理を行う。重複パケット処理機能は、パケットの受信側で利用する機能で、重複パケットのうち、先に到着したものを支線 LAN 側に送信し、それ以降に到着したものは破棄する処理を行う。

## 3. VoIP 音声品質による評価

第1章でも述べたように、Internet における通信品質について議論する場合、

- パケットロス率
- 往復遅延時間
- ジッタ (遅延のゆらぎ)

を評価基準とすることが多い。これは、これらのパラメータを用いることで、多様なアプリが動作する Internet において、全ての通信に共通な特性について議論ができるからである。一方、アプリケーションにおける品質を評価することは、一般的には容易ではない。が、VoIP については、電話というアプリケーションが古くから存在することから、その品質評価手法についての研究開発・標準化が行われており、その測定手法、ツールが整備されている。

そこで、本稿では通信を利用するアプリケーションとして VoIP を例にとり、その品質評価値である MOS 値と、パケットロス、遅延、ジッタとの関連を明らかにする。この目的のため、

- パケットロスとジッタを、それぞれ単独で加えた実験室環境における基礎評価試験
- 車両に搭載し、実際の町中を走行しての実車評価試験
- 実環境における条件をモデル化し、再現性をもった議論をするためのモデル評価試験

の3種類の試験を行った。

### 3.1 MOS 値による音声品質評価

電話や VoIP の音声送信品質を評価する指標の一つに、MOS (Mean Opinion Score) 値 (ITU-T P.800) [6] がある。これは、被験者による主観評価により、Excellent: 5点、Good: 4点、Fair: 3点、Poor: 2点、Bad: 1点の採点を行い、その平均値をもって測定値をする。

しかし、人間による主観評価には

- 多くの被験者を集める必要があり、必要となる時間/コストが大きい

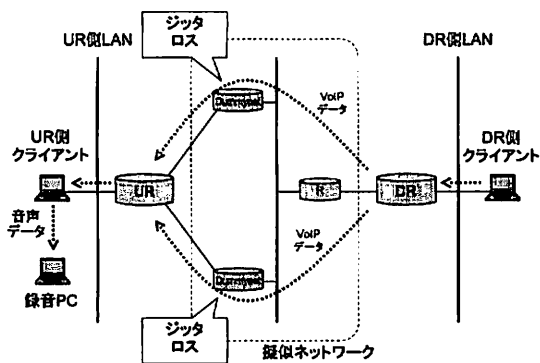


図3 基礎評価試験のシステム構成

- 評価結果が被験者及びその状態などに左右され、再現性をもって実施することが難しい

という問題がある。そのため、開発段階での効率的な品質評価のためには、アプリケーションの品質をソフトウェア等により、自動評価を行うことが必要であり、ITU-T ではその手法について P.861 PSQM (Perceptual Speech Quality Master) [7], P.862 PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) [8] という形で標準化が行われてきた。

本実験では、ITU-T P.862 PESQ と同等の結果を算出できる Genista(ジェニスタ)社製 Sound Optimacy [9] を用いて MOS 値の計測を行った。このソフトウェアでは、入力音声と出力音声の波形を比較し、MOS 値を計算する。

### 3.2 基礎評価

#### 3.2.1 試験システム構成

図3に試験構成を示す。ここで、UR は Dumynet [10] による模擬ネットワークに対し、2つの異なるインターフェースを経由して接続する。Dumynet によりパケットロスやジッタを加え、実際の Internet を模擬する。UR 側 LAN, DR 側 LAN には、VoIP アプリケーションとしてソフトフロント社の SIP ソフトフォン SipTermX [11] をインストールしたクライアント PC を接続する。

送信側において、SipTermX により予め用意した 12 秒程度の音声を GSM 06.10 形式でエンコードし、RTP (Real-time Transport Protocol) を使用して伝送する。受信側の SipTermX でこれをデコードして音声として再生し、さらに録音用クライアントにて録音する。このようにして得られた録音データと、送信側の元データとを評価ソフトウェア Sound Optimacy に入力して MOS 値を算出する。なお、GSM 06.10 形式では、音声データを 20msec ごとに 33byte にエンコードし、伝送時には IP ヘッダ、GRE ヘッダ、UDP ヘッダ、および RTP ヘッダの計 68byte が付加されるため、101byte のパケットが 1 秒間に 50 個伝送される形となる。すなわち、IP 層以上における 1 秒当たりのビットレートは、40.4kbps となる。

#### 3.2.2 パケットロスの影響の評価

図3で示した Dumynet において、0%、5%、10%、20% のパケットロスを与えた計 4 ケースについて、通常の単一の経

表1 パケットロスの影響の評価

	パケットロス率 (%)			
	0	5	10	20
ユニキャスト	2.99	2.81	2.39	1.57
バイキャスト	2.98	2.94	2.97	2.30

(MOS 値)

路のみを利用するユニキャストと、2本の経路を利用するバイキャストの場合との比較を行った。なお、バイキャスト使用時には両方の経路に対して同一のパケットロス率を設定している。

表1に結果を示す。測定は5回行って平均値を求めた。このように、

- ユニキャスト、バイキャスト両者の場合で、パケットロス率が高くなるにつれて MOS 値が悪化していくこと
- バイキャストの場合には、その悪化の度合いが緩やかであること

がわかる。

これは、バイキャストの場合には2本の経路による伝送を行っているため、実際のパケットロス率は理論的には見かけのパケットロス率の2乗となる。(UR 側 LAN でパケットをキャプチャした結果は順に 0.35%、1.36%、6.03%であった。)したがって、見かけ上のパケットロス率が5%、10%のケースではほとんど影響がなく、20% になってはじめて影響が出たものと考えられる。

#### 3.2.3 ジッタの影響の評価

前節同様に Dumynet において、遅延にジッタを与えて評価を行った。表2に示すように、遅延 500msec を中央値として10%、20%、40%、20%、10%のように離散的に確率を分配している。以下、それぞれのケースで最大/最低の遅延の値をとり、500 ± 10msec あるいは簡略化して ± 10 のように表記する。

結果を表3に示す。前節同様、こちらも測定は5回行って平均値を求めた。表から

- ± 10 のケースでは、音声品質への影響はほとんどない
- ± 20 のケースでは、バイキャストによる効果が顕著に現れている
- ± 40 のケースでは MOS 値が 1.0 とアプリケーションとしての機能が成立しない品質となっている

ことがわかる。

VoIP アプリケーションにおいてジッタバッファが用意されているが、本実験では使用した SipTermX では、ジッタバッファの default 値として 20msec 分が設定されており、本実験でもその値を採用している。このため、

- ± 10 のケースでは、多少の遅延あるいは逆順での到着が起きているが、ジッタバッファにより、所定の時間内でのデータの到着、並べ替えができており、結果的に音声品質の劣化はない。
- ± 20 のケースでは、連続したパケットの片方が - 20msec 後のパケットが + 20msec の遅延のゆらぎがあった場合等にジッタバッファに収まらない状態を生じる。バイキャ

表 2 遅延値の出現確率

	10%	20%	40%	20%	10%
500 ± 10	490	495	500	505	510
500 ± 20	480	490	500	510	520
500 ± 40	460	480	500	520	540

(単位は msec)

表 3 ジッタの影響の評価

	遅延			
	500 ± 0	500 ± 10	500 ± 20	500 ± 40
ユニキャスト	2.97	2.98	2.16	1.00
バイキャスト	2.97	2.97	2.47	1.00

(MOS 値)

ストを使用した場合には UR に早く到着したパケットが採用されるため、結果的に遅延、ジッタの両者をわずかだが減少させる効果があり、ジッタバッファが有効に働く時間帯を増加させることができ、結果的に MOS 値の悪化を低減できている。

- ± 40 のケースでは、多くのパケットがジッタバッファで確保している時間を越えて遅延あるいは到着順が逆転しており、結果的に VoIP として音声を送る機能を失っているレベルである。

のように、ジッタバッファがうまく機能するかどうかの結果に大きく影響したことが考察できる。

### 3.3 実車評価

本節では、実際に市販の無線デバイスをアクセス回線として用い、車両を走行させるといった実環境での性能評価を行う。

図 4 に実車評価試験の構成を示す。DR 側 LAN はセンターに設置し、UR および UR 側 LAN を試験車両に搭載する。無線インターネット接続として

- KDDI PacketWIN
- ウィルコム 4x パケット方式

を用いた。それぞれの理論最大性能は 2.4Mbps および 204Kbps である。なお、以下 KDDI PacketWIN による接続を A 回線、ウィルコム 4x パケット方式による接続を B 回線と呼ぶこととする。

図 5 に、実車評価試験で走行したコースを示す。同コースを 3 周走行し

- (1) ユニキャスト: A 回線
- (2) ユニキャスト: B 回線
- (3) バイキャスト: A 回線 + A 回線
- (4) バイキャスト: B 回線 + B 回線
- (5) バイキャスト: A 回線 + B 回線

の 5 ケースについて、12 秒の音声データを連続して再生しての測定を行った。

3.2 節でも述べたように、今回アプリケーション例として用いた VoIP が正しく機能するためには、IP 層以上で 40.4Kbps 以上の帯域を必要とするが、今回走行した環境ではそれに十分な帯域を確保できない状況であった。そのため、特に (2)、(4)、

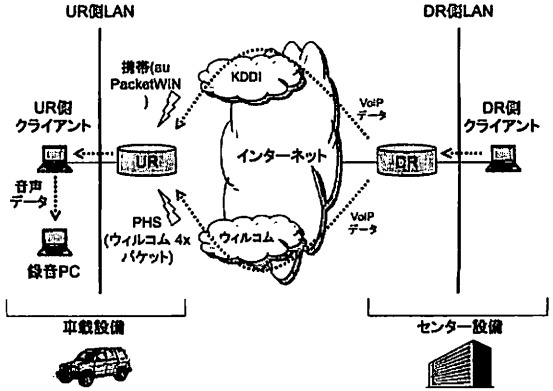


図 4 実車評価試験のシステム構成

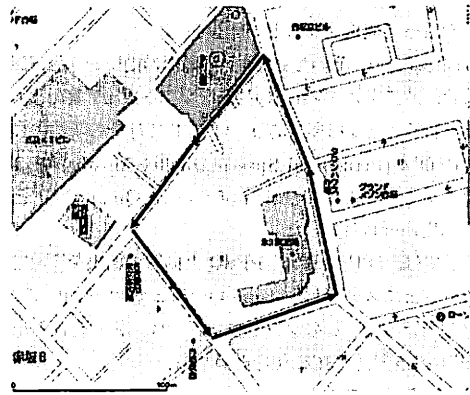


図 5 走行コース

表 4 実車評価結果 (MOS 値の出現比率)

MOS 値	ユニキャスト		バイキャスト		
	A	B	A+A	B+B	A+B
(2.5, 3.0]	0	0	1(3%)	0	0
(2.0, 2.5]	0	0	1(3%)	0	0
(1.5, 2.0]	0	0	4(11%)	1(3%)	1(2%)
(1.0, 1.5]	4(11%)	0	8(22%)	0	2(5%)
1.0	32(89%)	38(100%)	22(61%)	38(97%)	38(93%)

(5) のケースでは、ほとんどが MOS 値 1.0 という最低値となるという状況であった。そのため正確な議論のための結果は得られなかったが、大変おおまかな比較として、MOS 値は 12 秒ごとの音声データごとに測定される MOS 値が 1.0 より大きい値をとった回数の出現比率を表 4 に示す。このように、ユニキャストで A 回線を単独で使用したケース (1) でもようやく MOS 値 1.0 より大きいものが 4 回出現しただけであったものが、バイキャストで A 回線を 2 つ使用したケース (3) では

- 40% 近くまで 1.0 より大きい値
- 1.5 以上となった値が 5 回 (出現率 14%)

と、状況は悪いながらも大きく改善していることがわかる。

### 3.4 モデル評価

前節で述べたように、実車評価試験においては十分な帯域を

表 5 モデル特性

	A	B
遅延	350msec	120msec
ジッタ	± 20msec	± 10msec
パケットロス率	5%	5%

表 6 モデル評価結果

	ユニキャスト		バイキャスト		
	A	B	A+A	B+B	A+B
MOS 値	1.58	2.62	2.54	2.84	1.00

確保できていない状況であったことから、利用した無線デバイスで Internet に接続した場合の通信品質を実験室環境にて再現し、帯域不足による影響を排除した試験を行い、評価することとした。

モデル化にあたっては、それぞれの回線について、連続した ping により、往復遅延時間とパケット欠落を測定し、それを元に表 5 のように遅延、ジッタ、パケットロス率を決定した。

システム構成は、3.2 節と同様であり、図 3 を参照されたい。

結果を表 6 に示す。このように、A 回線、B 回線ともにユニキャスト時よりもバイキャスト時に MOS 値が大きく改善していることがわかる。一方、A 回線と B 回線を組み合わせたバイキャストでは、かえって MOS 値は悪化し、最低の 1.0 となっている。これは、前節でも考察したように、遅延の平均値が異なる 2 種のネットワークをバイキャストに利用した場合に、それらが混合されることによって大きなジッタを生じることが悪影響を与えるためである。

3.2 節から 3.4 節までの実験全体を通じての考察を以下にまとめる。

- バイキャストの使用によりパケットロス、ジッタともに低減される
- VoIP の品質には両者が影響するが、特にジッタ値に対して敏感である
- 遅延の平均値が同等な回線を用いてバイキャストを使用すると、パケットロス、ジッタの低減効果により VoIP の品質も向上する
- 遅延の平均値が大きく異なる回線を用いてバイキャストを使用すると、ジッタを増幅させるという悪影響があり、VoIP の品質は大きく損なわれる。

#### 4. ま と め

本稿では、モバイル環境における通信品質を改善する手法として、エンドサイト・マルチホーム技術をベースとするバイキャストを提案した。さらに、実アプリケーションの例として VoIP を用いて、その品質評価値である MOS 値と、従来品質評価にパケットロス、遅延、ジッタとの関連を明らかにした。これらのパラメータの使用は、計測が容易である、アプリケーションの特性によらない議論が可能である、という利点もあるものの、必ずしも単純にアプリケーションの品質を表していな

いことが確認された。本稿における MOS 値のように、直接アプリケーション品質を表すパラメータを用いての品質評価も並行して行うことが重要である。

#### 文 献

- [1] 宇多 仁, 小柏 伸夫, 永見 健一, 近藤 邦昭, 中川 郁夫, 篠田 陽一, 江崎 浩, 多重ルーティング型マルチホームアーキテクチャの提案, 電子情報通信論文誌, 10, J87-B, pp.1564-1573, 2004
- [2] K. Nagami, S. Uda, N. Ogashiwa, R. Wakikawa, H. Esaki and H. Ohnishi, IETF RFC4908, Multi-homing for small scale fixed network using mobile IP and NEMO, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4908.txt>
- [3] C. Perkins, Ed., IETF RFC3344, IP mobility support for IPv4, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>
- [4] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, IETF RFC3775, Mobility support in IPv6, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>
- [5] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, P. Thubert IETF RFC3963, Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3963.txt>
- [6] International Telecommunication Union, Methods for subjective determination of transmission quality, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>
- [7] International Telecommunication Union, Objective quality measurement of telephone-band (300-3400 Hz) speech codecs, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.861-199608-S/en>
- [8] International Telecommunication Union, Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I/en>
- [9] Genista, Genista Optimacy, <http://www.genista.com/optimacy.htm>
- [10] Luigi Rizzo, Dummynet, <http://info.iet.unipi.it/luigi/ip.dummynet/>
- [11] ソフトフロント, 接続試験用 SIP ソフトフォン/接続試験用 SIP サーバー, [http://www.softfront.co.jp/products/testtool/test\\_server.html](http://www.softfront.co.jp/products/testtool/test_server.html)