

放送通信融合システム最適化のためのQOEモデル

三代沢 正^{†,‡} 亀山 渉[‡]

[†]セイコーエプソン株式会社 〒399-0785 長野県塩尻市広丘原新田 80

[‡]早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 〒367-0035 埼玉県本庄市西富田大久保山 1011

E-mail: [†]miyosawa.tadashi@exc.epson.co.jp, [‡]wataru@waseda.jp

あらまし デジタル放送の開始時から放送通信融合サービスのトライアルがいくつかなされて来た。NGNが普及するにつれて、今後さらにそのような映像配信を含むサービス提案は増加していくものと考えられるが、よりユーザ視点を重視した最適な放送通信ソリューションの提案が求められている。

本研究では、放送通信の最適バランスを求めるためにユーザ視点（効用）でQOEの考察を行い、放送・通信・コンテンツ・価格までを含めたQOEのモデル化をおこなった。またそれを基にQOEを最大化する手法の提案を行った。

キーワード 放送通信融合, QOE, BML, NGN, PSモデル, カラーセル

Modeling QOE for Hybrid Broadcast and Communication System Optimization

Tadashi MIYOSAWA[†] Wataru KAMEYAMA[‡]

[†]SEIKO EPSON CORPORATION 80 Harashinndenn, Shiojiri-shi, Nagano-ken, 399-0785 Japan

[‡]GITS, Waseda University 1011 Okuboyama, Nishitomita, Honjyo-shi, Saitama-ken, 367-0035 Japan

E-mail: [†]miyosawa.tadashi@exc.epson.co.jp, [‡]wataru@waseda.jp

Abstract Since Digital Broadcasting has started, Several Hybrid Broadcast and Communication Service trial has been announced. Because of introduction of NGN, more hybrid service will be introduced this year. But since now, there was no good QOE model for Hybrid Broadcast and Communication System Optimization.. We discuss user oriented QOE in Hybrid environment to maximize user QOE considering Broadcast, Communication, Content and Cost.

Keyword Digital Broadcasting, Communication, QOE, BML, NGN, PS Model, Carousel

1. はじめに

2000年12月よりBSデジタル放送が開始され、2006年からはデジタル地上放送も全国に展開された。デジタルテレビ放送の視聴者にとっての大きな利点はHD (High Definition) 放送が受信可能になり、臨場感の高い番組を楽しめること、またデータ放送により、映像だけではなく番組に付随した、あるいは連動した情報などが楽しめ、双方向番組などが楽しめることである。視聴者にとって、HD放送は容易にそのデジタル放送のメリットを体感できるところであるが、データ放送に関しては、デジタルテレビへの通信回線帯域が一般的に狭小であるなどの理由で、メリットが感じにくいというのが現実であった。

また一方で、2008年春からNGNサービスが商用開始され、2011年には全国で使用可能となる。ここでは必要に応じて広帯域かつ通信品質を保証する“マネー

ジド型”サービス [1] が選択可能になり、前述のような帯域に関する課題も緩和されるため、HD映像、データ放送、双方向機能などを通信で提供するIPTVサービスもより実用レベルで提供可能となる。

今後HD映像だけではなく、スーパーハイビジョンなどの大容量コンテンツを効率良く配信するためには、放送と通信を使った最適解を求めることが求められ、その指標としてユーザ視点でのQOEモデルが必要とされると思われる。

我々は以前より、デジタルテレビ環境下で放送通信融合サービスの一例である放送番組連動印刷方式 [2] の研究に取り組んできた。このような放送通信融合サービスは今後とも多く提案されるであろうが、放送と通信を使いユーザにとっての効用（体験品質：QOE）を最大化することが、今後のサービスプロバイダーにとっての大きな関心事となる。

しかしながら、今まで、放送、通信、コンテンツ、料金まで含め一元的にQOEモデルを議論された例は無いため、放送通信融合サービスモデルの検討を行い、その後コンテンツのモデル化、QOEモデル、通信評価モデル、放送評価モデルなどの定義を行い、最後にそのような、モデルに従って、実際の例に近いサービスを想定して評価を行った結果を示す。

2. 放送通信融合サービスモデル

本稿では、出来るだけ実際に行われ、将来にわたって継承されるであろう、サービスをベースモデルとしてモデル化することにした。現在日本におけるデジタル放送ですでにサービスが行われているデータ放送のモデルをベースモデルとした。そのため、TOP画面は図2のような動画、静止画、テキストが同時に表示されるような画面を放送で送り、その後の2次画面以降のコンテンツは、放送あるいは通信で送出されることを想定した。まず、コンテンツプロバイダーによって制作された番組は、スマートメディアサーバに渡され、放送で送るコンテンツ部と通信で送る部分と分離され、TOP画面はまず放送で送出され、その後ユーザが下位層のコンテンツへのアクセスを指示すると、放送の場合はカーセル [3] [4] で受信を行い、また通信の場合は通信プロバイダーにアクセスをして次の画面を受け取る。通信プロバイダーはユーザ属性、接続状況やコンテンツの人気度などの情報をスマートメディアサーバに通知することにより放送通信サービスの最適化を図るものとする。このような情報により、特に人気度の高いコンテンツは出来るだけTOP階層に集中して配置して2次アクセスを減少させること、また、どちらか高速なメディア(放送/通信)を選択して送出するようにすることが可能となる。

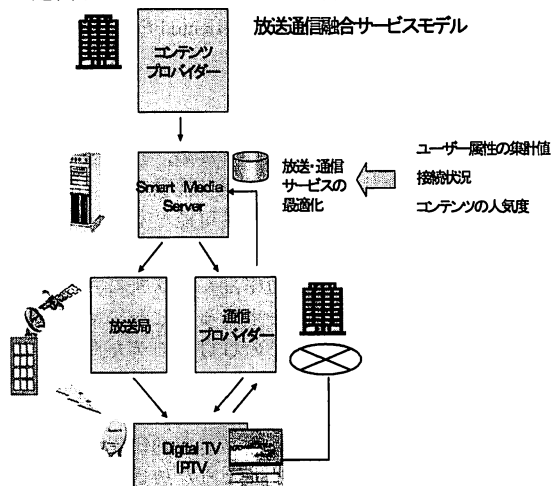


図1 放送通信サービスモデル

3. コンテンツモデル

すでに、日本国内で運用実績があり、ARIB規格 [3] [4]として規定されているBMLコンテンツを対象のコンテンツモデルとして想定した。

筆者らは以前、東京のBSデジタル局と連携してBSデジタル2スロット(約2.1Mbps)内での番組として4分の1画面での動画データと、その周りを囲む画面データとしてBMLによって背景情報や必要なテキスト情報送る番組のトライアル [2]を行ったが、この番組をサンプルとして考える。

この番組では図2の画面が、メインの画面になり、視聴者にお出かけマップ、アクセス方法、便利情報BOXなどの選択をしてもらえるようになっている。



図2 データ放送番組、トップ画面(例)

お出かけマップを選択すると詳細な周辺情報が出され、さらに希望すると、情報量の多いマップが表示される。

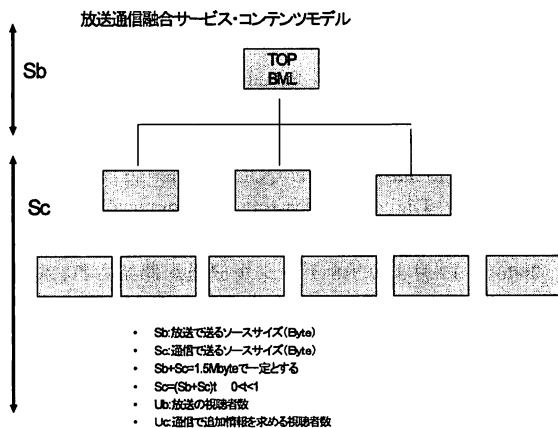


図3 コンテンツモデル

ここで、コンテンツモデルとしてはBMLを想定したため、図3に示すような階層構成のコンテンツを考える。

Sb(Byte)は放送で送るコンテンツサイズを示し、Sc(Byte)は通信で送るコンテンツサイズを示す。Sb+Sc

は一定としてここでは 1.5Mbyte とする。また, U_b は放送における視聴者数を示し, U_c は通信における視聴者数を示すものとする。

4. 放送通信融合 QOE 評価モデル

第 3 節で述べたように, コンテンツ全体のサイズは固定とし, 放送で送られるコンテンツと通信で送られるコンテンツ量の比率は可変とする。たとえば, 通信回線は高速化するにつれて通信で送るコンテンツ量 (S_c) の比率を増加させることが出来ればユーザの満足度は向上すると考えられる。

しかしながら, ユーザの満足度は利用可能帯域や待ち時間などの物理量に対しては非線形である。そのため, ユーザの視点からの QOE を評価する場合にはユーザ効用を用いる必要がある。

待ち時間に対するユーザ効用は, 式 1 と図 4 に示すような指数関数によって測度関数が定式化されることが報告されている [5]。そのため, このようなコンテンツに対する平均放送通信融合 QOE は放送で送られたコンテンツに関する平均 QOE と, 通信で送られたコンテンツに関する平均 QOE の AND 条件と考えられ, 後述の式 7 に示すように両者の積をとったものと考えられる。

$$QOE(t) = e^{-kt} \quad \text{式 1}$$

ここで k は待ち時間に関する感度を示すパラメータであり, 0.1 とした。

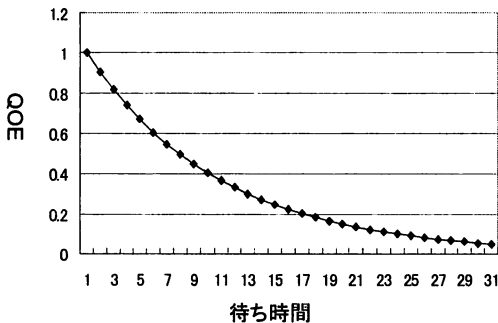


図 4 待ち時間に関する効用 (満足度) 曲線

4.1. 通信評価モデル

ARIB 規格では, データ放送の BML コンテンツは TCP/IP にて送信することが規定されている [3] [4]。

また, TCP におけるファイル転送時間は待ち行列における Processor-sharing (PS) モデル (M/G/R/PS) を用いて, TCP ファイル転送時間を推定可能であるという研究結果がある [6] [7]。

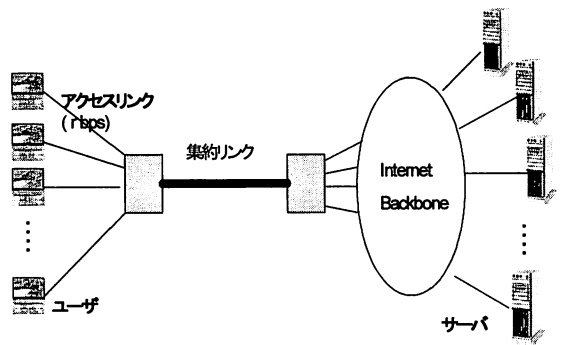


図 5 通信フローモデル

我々はこの研究結果に基づきファイルの転送時間をモデル化することにした。

集約リンク使用率 ρ としたときの平均ファイル転送時間 $T(\rho)$ は以下の式で与えられる。

$$T(\rho) = \frac{s}{r} \left[1 + \frac{E_{2,R}(\rho)}{(1-\rho)C/r} \{1 - (1-\rho)(C/r - R)\} \right] \quad \text{式 2}$$

ここで

S : 平均ファイルサイズ, r : アクセス回線速度, C : 集約回線速度, $R = \text{INT}[C/r], E_{2,R}$: サーバ数 R のときのアーラン C 式とする

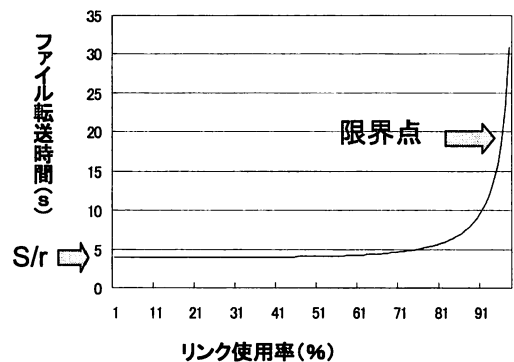


図 6 リンク使用率とファイル転送時間

通信で受信したコンテンツ部分のユーザ満足度 (QOE) は式 3 のように, 各ユーザの満足度から, 必要な通信コストを引いた全ユーザの平均値と考えられる。

$$\sum_i^{U_c} (QOE(Tp(i), S_c) - \text{cost}(i)) / U_c \quad \text{式 3}$$

ここで, 図 6 のように集約リンク使用率がある限界点以上になると極端にファイル転送時間が大きくなり, ユーザ効用はゼロに近づく。そのため, 集約リンク使

用率がまだ定常状態時にリクエストを出したユーザのみを考慮すれば良い, そのユーザ数を U_{cs} とする. また U_{cs} に達するまでのユーザの転送時間は Sc/r であると考えられるため, 通信部分の QOE 評価モデルは式 4 で推定できるものと考えられる. これは式 5 と等価である.

$$\sum_i^{U_{cs}} (QOE(Sc/r) - cost(r)) / U_c \quad \dots \text{式 4}$$

$$(QOE(Sc/r) - cost(r)) * U_{cs} / U_c \quad \dots \text{式 5}$$

また, 通信側で送るコンテンツ量が増加すれば, 通信での視聴者は増加すると考えられるため, U_c は 7 図に示すように通信側で送るコンテンツ量に比例すると考えられる. また前述のように U_{cs} は, 集約リンクの使用率がある限界点に達するまでは, U_c と同一でありそこに達するとそれ以上増えずに一定 (U_{cs}) となる. そのため U_{cs}/U_c は図 7 のグラフのように変化するように考えられる.

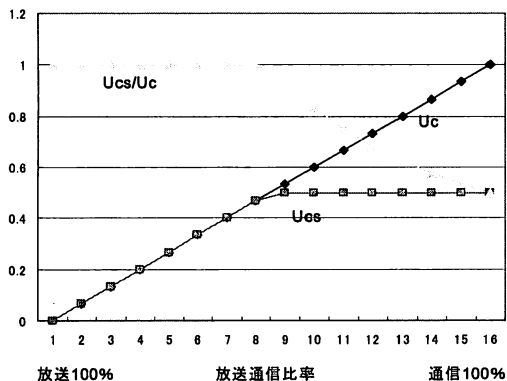


図 7 通信視聴者数

4.2. 放送評価モデル

図 8 のように, データ放送では BML や静止画はカルーセル伝送と呼ばれる同じ内容 (番組のまとまり) を繰り返して送出する方法をとっている. そのため, 視聴者は最大カルーセルの周期だけ待てば表示される.

カルーセル周期は, 他番組も同時に送出される場合には多重化されるため, 番組モジュールの実送出時間より大きく設定される場合もある. ここでは議論を単純化するために以下のようにカルーセル周期を設定する.

$$\text{カルーセル周期} = (S_b/C_b) \times \text{カルーセル係数} = Cal(S_b, C_b) \quad \dots \text{式 6}$$

ここでカルーセル係数は多重化率と考えられる. また, 従来研究によると, モジュールの平均取得時間

は最大でカルーセル周期, 最小でカルーセル周期に $1/2$ となることがわかっている [8] が, 今回は最大値のカルーセル周期時間で評価を行った. また, カルーセル係数は 2 とした.

前節の通信部分と同様にユーザの満足度 (効用) という観点から放送部分効用は式 5 より QOE(Cal(S_b, C_b)) で評価した.

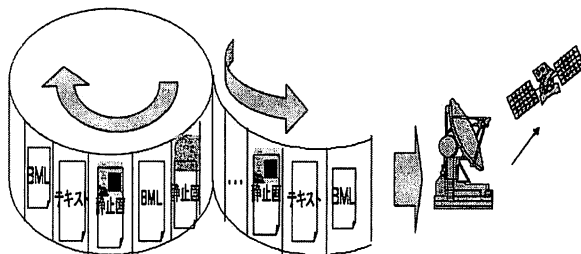


図 8 カルーセルによる番組送出

5. 放送通信融合 QOE 評価結果

前節で述べた, 通信評価モデルと放送評価モデルに基づき, 放送通信融合システムの QOE 評価を行った.

放送側, 通信側双方でどのようにコンテンツ送出負荷を分担すべきか, またその最適解が存在するのかがという観点で評価をおこなった.

前節の式 5 と式 6 により放送通信融合システムの QOE は以下の式 7 で表現される.

$$((QOE(Sc/r) - cost(r)) * U_{cs} / U_c) * (QOE(Cal(S_b, C_b))) \quad \text{式 7}$$

ここで, 放送側コンテンツ S_b と通信側コンテンツ S_c の和は 1.5MB で一定量であるため, ここでは, 通信側のコンテンツ量を連続的に 0 から 1.5MB まで変化させシミュレーションを行い図 10, 11, 12 のようなグラフが得られた.

なお, 通信コストファクターは 64Kbps の低速な場合, 0.01, 250Kbps~1Mbps の中速の場合 0.02, 2Mbps~10Mbps の高速な場合 0.03 とした.

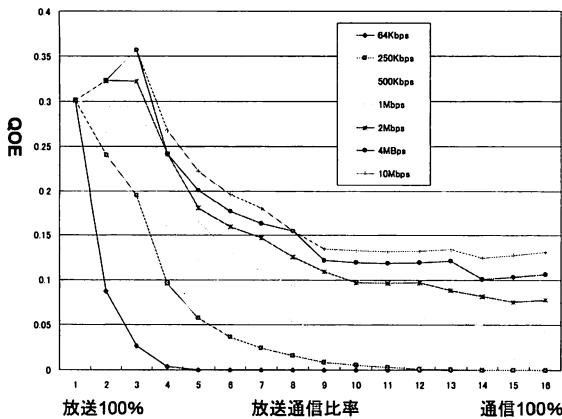


図 10 Ucs/Uc が 0.15 の場合

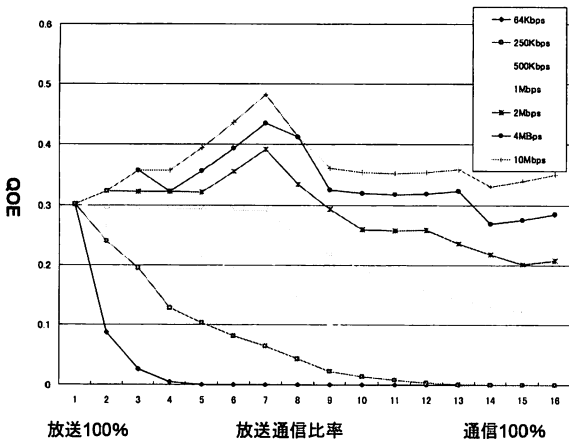


図 11 Ucs/Uc が 0.4 の場合

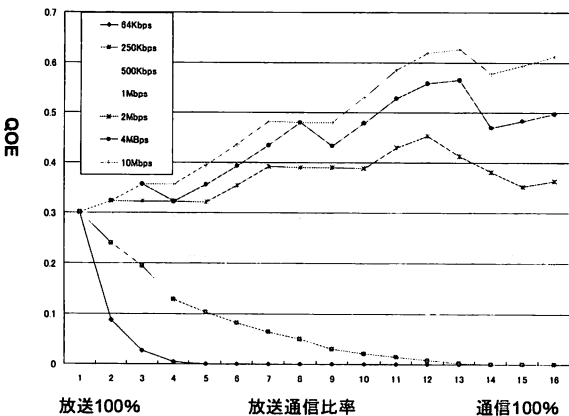


図 12 Ucs/Uc が 0.7 場合

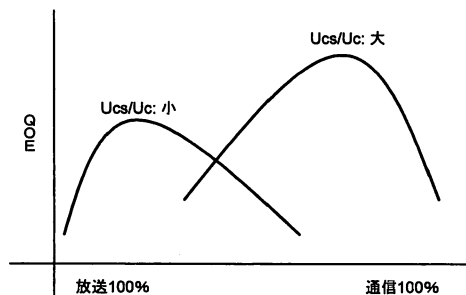


図 13 Ucs/Uc と QOE の最大化

以下のようなことが解る。

- ① ネットワークが低速な時はできるだけ全部を放送で送るほうが有利である。
- ② ネットワークが放送と均衡する速度あるいはそれ以上のときは、コンテンツ送分担の最適バランスが求められる。ただし、その最適解は以下の条件で変化する。
 - (ア) Ucs/Uc が小さい、つまり集約リンク・サーバ能力が早めに飽和する時、図 10 に示すように放送で送るほうが有利ということが解る。
 - (イ) Ucs/Uc が大きい、つまり集約リンク・サーバの処理能力が高いか、通信での 2 次アクセスが少ないときには、図 12 に示すように、通信で送るほうが有利で、また全体の系としての満足度が高い。
 - (ウ) 放送で送ったコンテンツ内容の満足度を上げる、つまり、たとえばTOP画面の放送側に人気度の高い内容を持ってくると、Uc が小さくなり、Ucs/Uc が大きくなり、(イ)と同様の傾向となる。
- ③ 図 10, 11, 12, 13 に示すように Ucs/Uc が大きくなるにつれ、QOE のピーク値は 0.35, 0.48, 0.63 と大きくなる。これは、サーバや集約リンクに投資しその能力を増強すると顧客満足度が上がるが、ピーク値を得る最適バランスが存在することを示している。

6. まとめと今後

デジタル放送が開始され、放送通信融合サービスの提供が開始され、また、通信側では通信速度を保障する NGN サービスがこの春より開始され、IPTV サービスやスーパーハイビジョン等の大容量映像配信が今後は普及していくものと考えられる。

我々は以前より、放送通信融合サービスのトライアルを行いその最適解を求める研究を行ってきた。

今回は、ユーザ効用に基づき、ユーザ視点での最適界を求めるために、それぞれ放送QOEモデルと通信Q

O Eモデルを設定しそれにより両者を融合したときの最適分配方式を決定するための統合モデルを提案した。

これにより、ユーザの感覚に非常に近い感覚で、両者を統一的に扱えるモデルが設定できた。

このような、モデルによりユーザ視点でのサービス評価が行われ、ユーザの利便性が向上し、そのような利便性の高いサービス提案が今後なされていくことを期待したい。

文 献

- [1] 安部威郎, 石橋豊, 吉野秀明, “次世代のサービス品質技術動向”, 電子情報通信学会誌, Vol191, No2, pp82-86, 2008
- [2] 三代沢正, 宮坂浩一, 亀山渉, “データ放送を使った最適な放送番組連動印刷方式の開発とその評価”, 映像情報メディア学会誌 Vol162, No.1, PP61-68(2008)
- [3] ARIB STD-B24 :デジタル放送におけるデータ放送符号化方式と伝送方式
- [4] ARIB TR-B15: BS/CS デジタル放送運用規定
- [5] 梶田剛広, 矢守恭子, 田中良明, “人気度に応じた配信間隔設定によるマルチキャストコンテンツ配信効用最大化” 信学技報 NS2004-278, IN2004-278(2005-2)
- [6] 川原亮一, “インターネットトラフィック測定分析手法”, 日本オペレーション・リサーチ学会, 待ち行列チュートリアル公演資料, 2007.6.16
- [7] 川原亮一, 石橋圭介, 朝香卓也, “フロー統計情報を用いた帯域設計管理法”, 信学技報 NS2003-87, IN2003-53, CS2003-62(2003-09)
- [8] 大槻一博, 齊藤恭一, 大谷明, “データ放送コンテンツの取得時間を低減する多重方式の検討”, 2002年映像情報メディア学会年次大会