

DTN と MPEG-DASH を用いた無線 LAN Streaming の特性評価

松本光広[†] 大木哲史[†] 甲藤二郎[†]

DTN の一つの応用分野として発展途上国におけるデジタルデバイドの解消が現在注目されており、筆者が所属する e-Education Project はバングラデシュでは都市部・農村部間のデジタルデバイドにより教育も通信も貧弱な同国の農村部に住む高校生達に DVD 授業を提供し、教育格差の緩和に努めている。しかし校舎数・生徒数が増えるなか従来の DVD メディアによるコンテンツ運搬に人的・時間的なコストがかかり問題となっている。また DTN の一手法である Message Ferry は物理的に移動する端末 Ferry をデータ転送の手段として使用するが、多くの研究がバスや電車等の交通機関を Ferry として活用・想定しているため今後通信時の Ferry の停留時間が問題となってくる。本稿では、以上の問題を解決するため複数枚の DVD メディアを運搬する作業を DTN 型の Ferry 方式に置き換え、かつ Streaming 方式として MPEG-DASH を用いた場合の特性評価と通信時間短縮方式の報告を行う。これにより Streaming 方式により短縮可能な通信時間に明らかな違いがあることが分かった。

Performance Evaluation of Wireless LAN Video Streaming using DTN and MPEG-DASH

MITSUHIRO MATSUMOTO[†] TETSUSHI OHKI[†] JIRO KATTO[†]

1. はじめに

DTN(Delay Tolerant Networking)[5]の研究が現在盛んに行われている。その一つの応用分野として、発展途上国におけるデジタルデバイドの解消が世界中から注目されている[1,2,3,4,5]。筆者が所属する e-Education Project[9]もその一つである。バングラデシュでは都市部・農村部間のデジタルデバイドによる情報格差が教育格差と経済格差の深刻な悪循環を生み出しているため、教育も通信も貧弱な同国の農村部に住む高校生達に DVD 授業を提供し、教育格差の緩和に努めている。当初校舎は 1 つしかなく生徒数も 30 人以下であったため DVD メディアによるコンテンツ運搬による問題は無かったが、校舎数・生徒数が増えるなかコンテンツ運搬に人的・時間的なコストがかかり始め現在問題となっている。

DTN の一手法である Message Ferry[4]は距離が離れているノード間のデータ送受信を実現するため、物理的に移動する端末 Ferry をデータ転送の手段として利用するものである。現在 DakNet[1]をはじめとする多くの研究がバスや電車等の交通機関を Ferry として活用・想定しているが、通信時の Ferry の停留時間が問題となってくる。

本稿では以上の問題解決を目的とし、複数枚の DVD メディアを運搬する作業を DTN 型の無線 LAN Streaming に置き換え、かつ Streaming 方式として MPEG-DASH[6]を用いた場合の特性を複数のシナリオで評価し、遅延低減方式について報告を行う。



図 1 活動風景・団体ロゴ[9]

2. 関連研究

デジタルデバイド解消を目的とした DTN の先駆的な研究例である DakNet は、実際に現地で展開されている事例として本研究分野ではベンチマークのような存在である。しかしデータ通信網整備に終始し、Message Ferry の停留時間に関しては考慮されていない。一方 KioskNet[2]もデジタルデバイド解消を目的とした研究で現地に展開されており、Message Ferry を利用し都市と農村部間のネットワークを構成する代表的な事例である。KioskNet では公開鍵を活用し、DTN の Critical Issue[3]の 1 つであるセキュリティ面を強化したデータ転送を実現している。しかし本研究も Ferry の停留時間に関する言及は行っていない。

3. 評価手法

本稿では 3 つのシナリオで評価を行う。まず図 2 のように Kiosk 付近にノード(Movie Client(s)、以下 MC(s))が存在し、Kiosk 内に保管されている映像を各 MC が Streaming 再生している際に Ferry が到着し、Kiosk に新しい映像コンテンツをアップロードする状況を想定し、これを全シナリオの基本とする。シナリオ 1 では教室内で映像を視聴する生徒数(MC 数)に着目し、MC 数が Ferry-Kiosk 間通信にどのように影響するのかを評価する。シナリオ 2 では 1 台の

[†] 早稲田大学
Waseda University, Japan.

Ferry で新しい映像コンテンツをアップロードするのではなく、複数台の Ferry でデータを一部ずつアップロードすることで Kiosk 内のコンテンツを更新するシナリオを想定し、評価を行う。シナリオ 3 ではデータ更新の際の Ferry と Kiosk の通信距離に着目し、評価を行う。全てのシナリオにおいて各 MC は MPEG-DASH を用いて映像再生を行っている。さらに、Ferry と Kiosk の通信開始直前に、Ferry は Kiosk 付近の MC(s) に Ferry 到着（新コンテンツの到着）を告知する Notification Packet を Bundle で送信する拡張方式を考える。Notification Packet を受信した各 MC は VLC(Video LAN Client)[7] の受信レートを最低値に固定し、Kiosk に映像配信を要求する。これにより、各 Kiosk-MC 間の使用帯域を減少させ、Ferry-Kiosk 間の転送を優先させる。なお、本稿の通信時間は「最初の Bundle が Kiosk で生成され、全データを Ferry から受信し終えるまでの時間」と定義する。

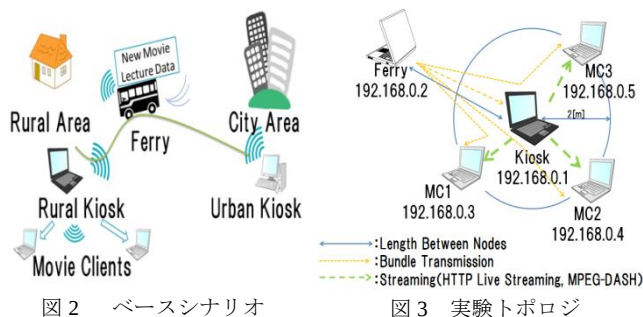


図2 ベースシナリオ

図3 実験トポロジ

4. 実機実験環境

全てのシナリオを図3のトポロジで行った。Ferry と Kiosk の距離は可変とし、2種類の距離を設定した。さらに一度に Ferry から Kiosk に転送するデータ量は3種類用意した。Kiosk と MC(s) の距離は[9]で授業を行う教室サイズから2[m]に設定した。Kiosk を AP(Access Point) とするアドホック網を構築し、無線 LAN 規格は 802.11g を使用した。使用するソフトウェアのバージョンは DTN 2.8.0、VLC 2.0.3 とし、MPEG-DASH に加えて固定レート配信を行う HTTP Live Streaming (以下 HLS)[8] も使用した。Kiosk から各 MC へ Streaming する動画は MPEG-DASH 用に3階層のビットレートを用意し、各階層の平均ビットレートは 201[Kbps]、376[Kbps]、413[Kbps] とした(図4参照)。

	HTTP Live Streaming	MPEG-DASH
動画	Bangladesh Lecture Movie (35:04)	
画素数	480 × 360	
エンコード	413 [Kbps]	413[Kbps]
ビットレート		376[Kbps]
		201[Kbps]
セグメント長	2 [s]	

図4 Streaming 映像詳細

その上で、HLS、MPEG-DASH、Notification Packet を用いた MPEG-DASH 拡張方式の比較を行った。さらに各シナ

リオにおいて Ferry と Kiosk の通信開始から終了までの間の各 MC の Streaming Bitrate を記録し、比較を行った。

5. 評価実験

5.1 シナリオ 1: MC 数と通信時間に関する評価

まず MC 数と Ferry-Kiosk の通信時間に関して評価を行った。Ferry と Kiosk の距離を 5[m] とし、Ferry から Kiosk に一度に転送するデータ量を 100[MB] とした際の実験結果を図5に示す。MC 数が 1、2、3 全ての場合において、拡張方版 MPEG-DASH の方が HLS や通常版 MPEG-DASH よりも通信時間が短縮されたことを確認した。MC 数が 1 の際、HLS と通常版 MPEG-DASH の通信時間はほぼ同等となった。また MC 数が 2,3 の場合も、HLS と通常 MPEG-DASH の通信時間の差は、HLS と拡張版 MPEG-DASH の差、通常版 MPEG-DASH と拡張版 MPEG-DASH の差それぞれの 1/4、1/3 程度であった。この考察については後程行う。

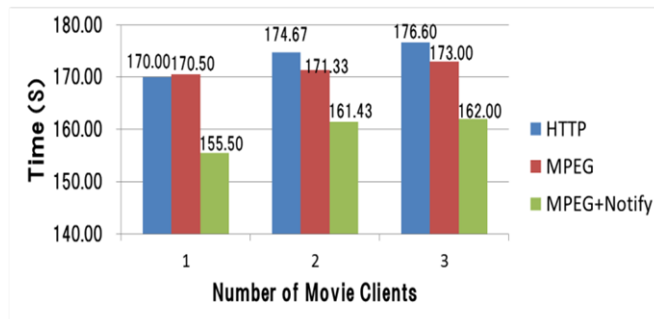


図5 MC 数と Streaming 手法別の Ferry-Kiosk の通信時間

5.2 シナリオ 2: Ferry 数と通信時間に関する評価

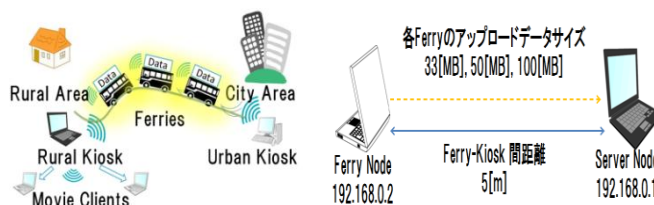


図6 シナリオ2

図7 Ferry-Kiosk 距離とデータサイズ

次のシナリオでは図6のように Kiosk にデータアップロードする Ferry 数を可変とし、Ferry-Kiosk の通信時間との相関に関して評価を行った。Ferry の数が 1 台、2 台、3 台のそれぞれの場合を想定。1 映像コンテンツのサイズは 100[MB] であるため、Ferry 数に応じて各 Ferry が運搬するデータサイズを図7のように 100[MB]、50[MB]、33[MB] とし、Ferry-Kiosk 間距離は 5[m]、MC 数は 3 とした。図8に結果を示す。全 Streaming 手法において、各 Ferry のアップロードサイズが 33[MB]、50[MB] の際の通信時間はそれぞれ 100[MB] の時のおよそ 1/3、1/2 になっていることが確認できる。また各アップロードサイズにおける HLS と通常版 MPEG-DASH の通信時間を比較すると、33[MB]、50[MB] の場合では通信時間はほぼ同等であり、100[MB] の場合通

常版 MPEG-DASH の方が HLS より 3.6[s]通信時間が短縮している。これに関しても後程考察を行う。

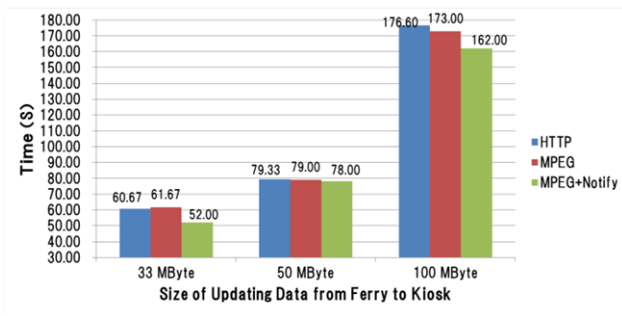


図 8 Ferry 数と Streaming 手法別の通信時間

5.3 シナリオ 3: Ferry-Kiosk 間距離に関する評価

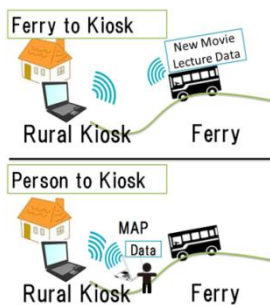


図 9 シナリオ 3



図 10 Ferry-Kiosk 距離とデータサイズ

最後のシナリオでは Ferry と Kiosk の距離に着目し評価を行った。図 9 のように 2 つの場合を想定し、“Ferry to Kiosk”ではシナリオ 1,2 と同じく Ferry が Kiosk より 5[m]の位置からデータをアップロードする。“Person to Kiosk”では Ferry が Kiosk 付近に到着した際、Ferry 内の人が Mobile Access Point (以下 MAP) を Ferry から持ち出し、Kiosk 付近まで持ち運ぶことを想定する。図 10 より、“Ferry to Kiosk”では Ferry-Kiosk 間を 5[m]、“Person to Kiosk”では Ferry-Kiosk 間を 1[m]と設定し、評価を行った。アップロードデータは 100[MB]、MC 数は 3 とした。以下図 11 に実験結果を示す。“Person to Kiosk”の方が“Ferry to Kiosk”と比較し平均 33.89[s] 通信時間が短縮されたが、“Ferry to Kiosk”の方が Streaming 手法として MPEG-DASH を用いるメリットが大きいことが分かる。HLS と比較し、“Person to Kiosk”では通常版 MPEG-DASH は 1.43[s]、拡張版 MPEG-DASH では 6.93[s] の短縮が確認できた。これに対し“Ferry to Kiosk”では通常版 MPEG-DASH は 3.60[s]、拡張版 MPEG-DASH は 14.60[s] の通信時間の短縮が確認できた。

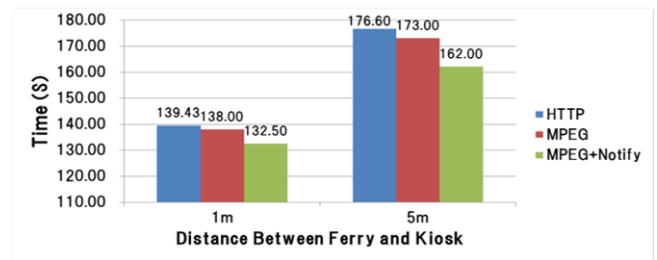


図 11 Ferry-Kiosk 間距離と Streaming 手法別の通信時間

6. 考察

6.1 Kiosk の CPU・メモリ使用率

まず Kiosk の CPU 使用率及びメモリ使用率に関して考察を行う。本稿では Streaming 手法に Adaptive な MPEG-DASH を用いることで帯域を有効利用し、空いた帯域が Ferry-Kiosk 間にフィードバックされる際の特性の評価を目的としている。従って MPEG-DASH を用いることによるアップロード時間の短縮が CPU 及びメモリ使用率の低下によるものではないことをまず確認する。図 12 は Ferry と Kiosk 通信時の Kiosk の CPU 使用率を示す。Ferry-Kiosk 間距離は 5[m]、MC 数は 3、アップロードデータは 100[MB]である。Ferry-Kiosk の通信は時間軸の 0[s] からスタートし、どの Streaming 手法を用いた場合でもおよそ 170-180[s]の間で通信が終了する。図 12 から通信開始により CPU 使用率が上昇し、通信終了に伴い減少している様子が読み取れる。実験を通してどの Streaming 手法も CPU 使用率は 2.5%を超えず、CPU 使用率の変化が Ferry-Kiosk の通信時間に影響を与えているとは考えられない。また実験を通し全ての Streaming 手法でメモリ使用率が 35%を超えることはなかった。以上より Kiosk の CPU・メモリ使用率の違いが Ferry-Kiosk 間の通信に影響を与えているとは考えられない。

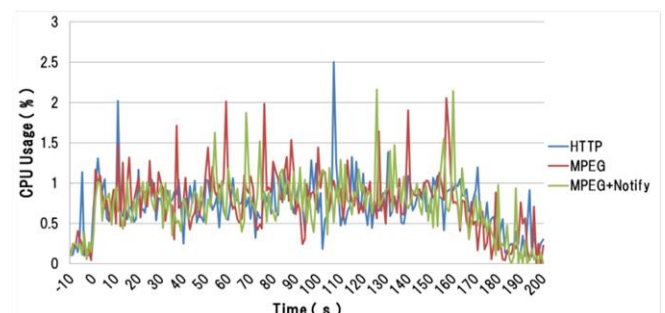


図 12 各 Ferry-Kiosk 通信中の CPU 使用率

6.2 各 Streaming 手法における MC の Streaming Bitrate

次に Ferry-Kiosk 通信時の各 MC の Bitrate に関して考察を行う。Ferry-Kiosk 間距離 5[m]、MC 数 3、アップロードデータ 100[MB]の場合の各 Streaming 手法における各 MC の Streaming Bitrate を図 13、14、15 に示す。HLS の場合、各 MC の Bitrate はおよそ 300-500[Kbps]の間で推移し、拡

張版 MPEG-DASH の場合各 MC はよそ 100-300[Kbps]の間で推移している。通常版 MPEG-DASH は 400[Kbps]を中心に推移しているが変動の幅がおよそ 200[Kbps]-700[Kbps]と他の Streaming 手法と比べ大きいことが分かる。また図 14 と図 15 より、通常 MPEG-DASH は拡張版 MPEG-DASH のように映像の Streaming Bitrate を最低値に固定してはいないことが確認できた。

図 16 では図 13、14、15 それぞれの MCs の Bitrate を合計し比較した。HLS と通常版 MPEG-DASH の合計 Bitrate が 1200[Kbps]付近 (各 MC の Streaming Bitrate は約 400[Kbps])で推移していることが確認できる。それに対し拡張版 MPEG-DASH は 600[Kbps]付近(各 MC の Streaming Bitrate は 200[Kbps])で推移している。従って Adaptive に Bitrate を更新してはいるものの、通常版 MPEG-DASH では基本的に 413[Kbps]の階層 Bitrate で各 MC は映像を Streaming していることが分かった。

]]]

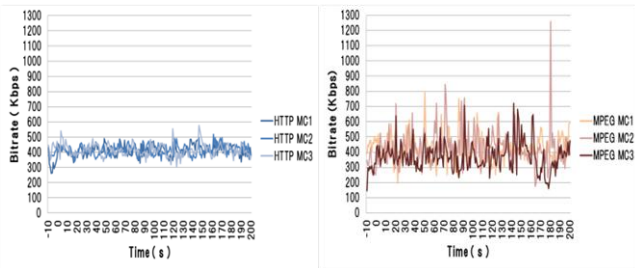


図 13 HLS 使用時の各 MC の Bitrate

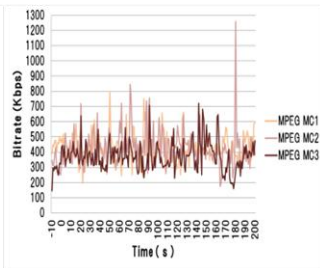


図 14 通常の MPEG-DASH 使用時の各 MC の Bitrate

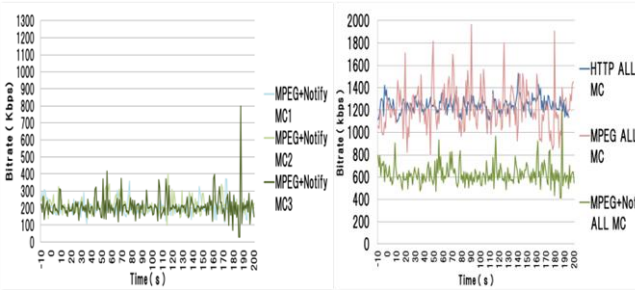


図 15 拡張版 MPEG-DASH 使用時の各 MC の Bitrate

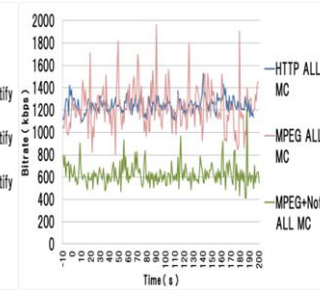


図 16 Streaming 手法別の全 MC の合計 Bitrate

図 16 より、各 Streaming 手法において全 MC が同等な Bitrate で映像を再生していると想定した場合の各 MC の平均 Bitrate を計算し、図 17 に示す。HLS と通常版 MPEG-DASH はほぼ同じ Bitrate であること、そして拡張版 MPEG-DASH は他に手法より約 200[Kbps] 低いことが分かる。この Bitrate の差が上述したシナリオ 1,2,3 における通常版・拡張版 MPEG-DASH の通信時間短縮に貢献していると考えられる。

Streaming手法	平均Streaming Bitrate [Kbps]
HTTP	414.52
MPEG	409.42
MPEG+Notify	210.39

図 17 Streaming 手法別の各 MC の Streaming Bitrate

シナリオ 1 では、MC 数が 1 の場合、HLS と通常 MPEG-DASH の際の通信時間はほぼ同等であり、MC 数が 2,3 の場合でもその差に大差はなかった(図 5 参照)。その理由は図 17 に示すように HLS と通常版 MPEG-DASH の平均 Bitrate がほぼ変わらなかったためであると考えられる。また図 5 より MC 数が増えることで HLS と比較し通常版 MPEG-DASH の通信時間が若干短縮されるのは、MC 数が増加することにより全 MC の合計 Bitrate の差も増加するためであると考えられる。シナリオ 2 でも一度にアップロードするデータサイズが大きいほど通信時間が長くなる(図 8 参照)ため、その分図 17 の平均 Bitrate の差が Ferry-Kiosk 間の通信時間にフィードバックされる。従ってアップロードデータサイズが 100[MB]の場合の方が 33[MB]、50[MB]の場合よりも HLS と通常版・拡張版 MPEG-DASH の通信時間の差は大きくなる。また同じようにシナリオ 3 は Ferry と Kiosk の距離が遠いほど通信時間は長くなる (図 11 参照)ため、1[m]の場合よりも 5[m]の場合の方が、平均 Bitrate の差が Ferry-Kiosk 間通信にフィードバックされる時間は長くなる。従って 1[m]と比べ 5[m]の方が HLS と通常版・拡張版 MPEG-DASH の通信時間の差は大きくなる。

最後に各 Streaming 手法を使用した際の Ferry-Kiosk の通信速度と Kiosk-MC の Streaming Bitrate について考察を行う。図 18 と 19 は Ferry-Kiosk の距離が 5[m]、アップロードデータサイズが 100[MB]、MC 数が 3 の場合の結果を元にした計算である。図 18 のように拡張版 MPEG の Ferry-Kiosk の通信速度を基準とした場合、HLS は 428.09[Kbps]、通常版 MPEG-DASH は 329.25[Kbps]、通信速度が遅いことが分かる。

MCのStream 手法	アップロードサイズ [bit] (100MB) ①	Ferry-Kiosk 転送時間[s] ②	転送速度[Kbit/s] ③=(①/②)/1,000	MPEG+Notifyを基準としたFerry-Kioskの転送速度 [Kbps]
HTTP	838,860,800.00	176.60	4,750.06	-428.09
MPEG	838,860,800.00	173.00	4,848.91	-329.25
MPEG+Notify	838,860,800.00	162.00	5,178.15	0.00

図 18 Streaming 手法別の Kiosk-Ferry の転送速度比較

次に図 19 より拡張版 MPEG-DASH 使用時の MCs の合計 Streaming Bitrate を基準とした、HLS と通常版 MPEG-DASH の合計 Streaming Bitrate はそれぞれ 612.41[Kbps]、597.10[Kbps]となる。無線 LAN 規格は IEEE802.11g で統一されているため、これは Streaming の際 HLS が 612.41[Kbps]、通常版 MPEG-DASH が 597.10[Kbps]の分だけ、拡張版 MPEG-DASH よりも帯域を消費していることを意味する。Streaming で帯域を消費している分 Ferry-Kiosk 通信にマイ

ナスのフィードバックがかかるため、HLS、通常版

MCのStream手法	各MC平均 Bitrate[Kbps] ①	全MC平均 Bitrate[Kbps] ①×3(MC数)	MPEG+Notifyを基準とした Kiosk-全MCのStreaming Bitrate[Kbps]
HTTP	414.52	1,243.57	612.41
MPEG	409.42	1,228.26	597.10
MPEG+Notify	210.39	631.16	0.00

図 19 Streaming 手法における Streaming Bitrate の比較

MPEG-DASH の Ferry-Kiosk 通信はそれぞれ計算上 612.41[Kbps]、597[Kbps] 通信速度が低下することになる。実際に各 Streaming 手法使用時の Ferry-Kiosk 通信の低下速度(図 18)と比較すると、HLS は 184.32[Kbps]、通常版 MPEG-DASH は 267.85[Kbps]、速度低下を免れている。この理由については今後調査が必要である。

7. まとめ

発展途上国における教育面のデジタルデバイドの解消を目的として、DTN と MPEG-DASH を用いた無線 LAN Streaming について検討を行った。本稿では3つのシナリオを想定し評価実験を行い考察した結果、通常版 MPEG-DASH を使用時の各 Movie Client (MC) の Streaming Bitrate が十分に下がっておらず、結果 HTTP Live Streaming (HLS) と通常版 MPEG-DASH 使用時の Ferry-Kiosk 間通信時間にあまり差のないことが分かった。従って拡張版 MPEG-DASH の方が他 2 つの Streaming 手法より帯域を制限し Ferry-Kiosk 間通信を優先していることを確認できた。また通信時間が長くなるほど MPEG-DASH 使用による Ferry-Kiosk 間通信へのフィードバックも大きくなるため、シナリオ 2 の複数 Ferry での運搬やシナリオ 3 の”Person to Kiosk”は各 Ferry の Kiosk との通信時間短縮には効果的だが、同時に MPEG-DASH を用いる効果を下げってしまうことを確認した。

今後の課題として MPEG-DASH の Bitrate を計測する際実際の Bitrate ではなく選択されている Representation がどのように変化しているかを計測する必要があることが挙げられる。また Streaming 用の動画の階層の差を大きくすることにより MPEG-DASH を使用する効果をさらに上げることができると考えられる。また 6.2 節の Bitrate の考察において HLS や通常版 MPEG-DASH の Ferry-Kiosk 通信が Kiosk-MC からの速度低下フィードバックを一部免れている点についても今後調査していく必要がある。

実際に現地で行われた実験のデータを分析し改善に繋げることが、デジタルデバイス解消への近道だと考える。今後は実験室内の実験に留まらず、現地での実機評価を進めて行く。

参考文献

- [1] Alex Pentland, Richard Fletcher and Amir Hasson: “DakNet: Rethinking Connectivity in Developing Nations,” Computer,

vol.37, no.1, p.78-83, January 2004.

- [2] S. Guo, H. Falaki, E. Oliver, S. U. Rahman, A. Seth, M. Zaharia, and S. Keshav. Very low-cost internet access using kiosnet.*Proc. ACM SIGCOMM CCR*, October 2007.
- [3] Khabbaz, M., Assi, C., & Fawaz, W. “Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges”. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(2), 607–640. 2012
- [4] 鶴正人, 内田真人, 滝根哲哉, 永田晃, 松田崇弘, 已波 弘佳, 山村新也, “DTN 技術の現状と展望,” 信学通誌, no. 16, pp. 57-68, March 2011.
- [5] DTNRG: <http://www.dtnrg.org/wiki>.
- [6] ITEC-DASH: <http://www-itec.uni-klu.ac.at/dash/>.
- [7] VLC: <http://www.videolan.org/>.
- [8] HTTP Live Streaming: <https://developer.apple.com/jp/Devcenter/ios/library/documentation/StreamingMediaGuide.pdf>.
- [9] e-Education: <http://eedu.jp/>.