

Wi-Fi を用いた 8K 映像の屋内再送信における品質評価

原田臨太郎^{†1} 折橋翔太^{†1} 金井謙治^{†1} 松尾康孝^{†2} 甲藤二郎^{†1}

概要: 本稿では、放送・通信連携サービスの1つとして、屋内でテレビ受信機が放送波によって受信した 8K 映像を、テレビ受信機に接続した Wi-Fi AP からモバイル端末へ MPEG-DASH を用いて再送信するサービスを想定し、その際の映像品質を評価する。IEEE802.11ac を用いることで、ユーザが Wi-Fi AP と別の室内や廊下で映像を視聴する際でも、8K 映像の実用放送で想定されているビットレートでの視聴が可能であることが確認できた。

キーワード: 8K 映像, MPEG-DASH, IEEE802.11ac

Performance Evaluations of 8K Video Retransmission Service over Wi-Fi in Indoor Environment

RINTARO HARADA^{†1} SHOTA ORIHASHI^{†1} KENJI KANAI^{†1}
YASUTAKA MATSUO^{†2} JIRO KATTO^{†1}

Abstract: In this paper, we evaluate quality of retransmitted 8K video using MPEG-DASH in indoor environment. We assume that 8K video delivery service utilizes broadcasting and IP communication systems. In this service, 8K video is broadcasted to a TV receiver and then retransmitted to a mobile device through a Wi-Fi AP. Results conclude that 8K video content encoded to the bitrates which are planned to be adopted in real-broadcasting use can be smoothly streamed to the mobile device via IEEE 802.11ac.

Keywords: 8K Video, MPEG-DASH, IEEE802.11ac

1. はじめに

日本では、2018 年までに BS などで 8K 映像の実用放送が予定されている[1]。また、NHK Hybridcast [2]に代表されるように、放送と通信の連携サービスの普及も進んでいる。本稿では、この放送・通信連携サービスの1つとして、屋内（家庭内やオフィスビル内）においてテレビ受信機が放送波によって受信した 8K 映像を、このテレビ受信機に接続した Wi-Fi AP を通してタブレット端末やノート PC などのモバイル端末へ MPEG-DASH を用いて再送信するサービスを想定し、その際の映像配信特性について実機実験により評価する。筆者らは[3]において同様のサービスを想定し、視聴ユーザがテレビ受信機、Wi-Fi AP と同一室内にいる場合の映像配信特性を評価している。本稿ではそれに加え、視聴ユーザがテレビ受信機、Wi-Fi AP と別室に居る場合や廊下にいる場合についても映像配信実験を実施し、ユーザの視聴環境が通信品質、映像品質に与える影響について焦点を当てて評価する。

2. 関連技術

2.1 MPEG-DASH

MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) [4]

は、ネットワーク品質の変動に応じて配信する映像の品質を動的に変化させる適応レート制御方式の1つである。この適応レート制御を実現するため、MPEG-DASH では配信コンテンツを階層構造で定義している。つまり、1つの映像は複数の異なるビットレートで階層的に圧縮され（レプリゼンテーションと呼ばれる）、さらに、数秒ごとに分割される（セグメントと呼ばれる）。このようなコンテンツ階層構造は、MPD (Media Presentation Description) と呼ばれる xml 形式のファイルで定義され、クライアントはこの MPD ファイルを参照することによって、ネットワークの品質変動に応じた最適なビットレートのコンテンツの取得が可能となる。

本稿における実機実験では、MPEG-DASH のメカニズムを JavaScript によって実装した DASH-JS [5]を用いている。DASH-JS は、HTML5 を利用したブラウザベースの実装であり、Google Chrome が提供する Media Source API [6]を用いて動作する。クライアントは Google Chrome を通して MPEG-DASH のコンテンツの視聴が可能となる。

2.2 IEEE802.11ac

IEEE802.11ac [7, 8]は、IEEE802.11n の後継となる最新の Wi-Fi 規格である。IEEE 802.11n からのスループット向上方法として、チャンネルボンディングと MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)の技術拡張がなされている。複数の無線チャンネルを束ねて伝送速度の向上を図るチャンネルボンディングは、IEEE 802.11n では 20 [MHz]であるチャンネル幅を 2つ

^{†1} 早稲田大学
Waseda University

^{†2} 日本放送協会
Japan Broadcasting Corporation (NHK)

まで束ねた 40 [MHz] のチャンネル幅までだったが、IEEE802.11ac では最大 8 つまで束ねた 160 [MHz] のチャンネル幅による伝送を可能にしている。また、複数組のアンテナを用いて伝送速度の向上を図る MIMO は、IEEE802.11n では最大 4 空間ストリーム (4×4MIMO) であったが、IEEE802.11ac では最大 8 空間ストリーム (8×8MIMO) による同時伝送を可能にしている。IEEE802.11ac では、この MIMO 技術を応用した MU-MIMO (Multi-User MIMO) もサポートしている。MU-MIMO は、複数のアンテナを用いることで複数の端末への同時伝送を可能とする。具体的には、最大で 8 つのアンテナを用いて、8 つの空間ストリームを合計 4 つの端末に同時伝送できる (1 端末あたり 2 つの空間ストリームを送受信)。この場合、全空間ストリームの伝送速度の合計は MU-MIMO を用いない場合の 4 倍となる。

さらに、IEEE802.11n からの変更点として、変調方式が 64-QAM から 256-QAM に改良された。これにより、変調過程において 1 つのシンボル (コンスタレーション上の信号点) に載せることができるビット数が 6 から 8 に増え、伝送速度を向上させている。この改良に伴い、80 [MHz] のチャンネル幅を用い、2 つの空間ストリームによって通信する場合の伝送速度は 650 [Mbps] から 866.6 [Mbps] まで向上する。

本稿では、Wi-Fi 規格としてこの IEEE802.11ac を採用し、チャンネルボンディングにおけるチャンネル幅を 20, 40, 80 [MHz] と変化させることで通信帯域を変化させ、その際の映像配信特性を評価する。また、MIMO については、実験機器 (Cisco Aironet 3700i [9]) の制約上、3 空間ストリームとしている。

3. 実験と考察

3.1 実験で想定するサービスモデル

本稿では、放送・通信連携サービスの 1 つとして、テレビ受信機が放送波によって受信した 8K 映像を、このテレビ受信機に接続した Wi-Fi AP を通じてタブレット端末やノート PC などのモバイル端末へ MPEG-DASH を用いて再送信するサービスを想定する。このサービスモデルを図 1 に示す。本来であれば、圧縮された 8K 映像をテレビ受信機が放送波によって受信し、復号したものを再度圧縮して Wi-Fi を用いてモバイル端末に再送信するが、本稿では単純化のため、8K 映像の原画像を圧縮したものを Wi-Fi を用いてモバイル端末に配信することでこの再送信を実現しているものとする。

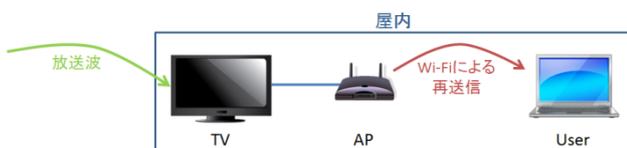


図 1 本稿の実験で想定するサービスモデル

3.2 実験環境および評価指標

様々なユーザ環境を想定し、IEEE 802.11ac を利用した際の 8K 映像の配信特性を評価する。テレビ受信機からの 8K 映像の再送信を想定し、DASH-JS によって実装した MPEG-DASH サーバを構築する。このサーバ上に H.264/AVC で予め圧縮した 8K 映像の MPEG-DASH コンテンツ (セグメント) および MPD ファイルを置く。レプリゼンテーションは、実際に 8K 映像の伝送が地上波放送や衛星放送で実用化された場合のビットレートを想定し、40, 60, 80 [Mbps] とする。図 2 に示す実験トポロジーのように、MPEG-DASH サーバと 2 つの Wi-Fi AP を用意し、クライアント端末であるノート PC へ HTTP を用いて 8K 映像を配信する。Wi-Fi AP は IEEE802.11ac を用い、チャンネル幅を 20, 40, 80 [MHz] に変化させて実験評価を行う。なお、空間ストリーム数は 3 である。本稿では、屋内 (家庭内やオフィスビル内) でのサービスを想定しているため、MPEG-DASH サーバおよびそれに接続した Wi-Fi AP は大学の研究室に設置し、ユーザが映像を視聴するノート PC (ユーザ端末) およびそれに接続した Wi-Fi AP は研究室または研究室と同一フロアの別室内や廊下にあるものとする。品質評価指標として、8K 映像配信時のスループット、選択されたレプリゼンテーション、PSNR を採用する。

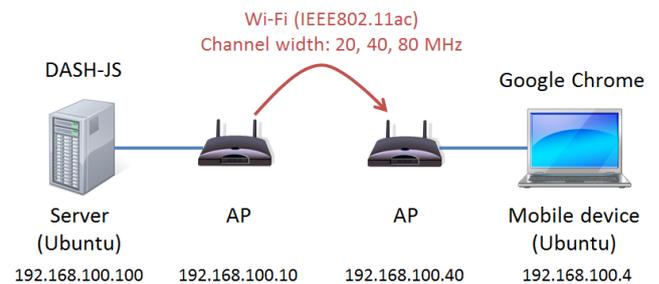


図 2 実験トポロジー

3.3 実験に用いた 8K 映像の PSNR 特性

本稿では、8K 映像として highway を用いている。単純化のため、yuv 形式の 8K 映像 (原画像) を H.264/AVC により 40, 60, 80 [Mbps] で圧縮した。圧縮され、生成された MPEG-DASH セグメントのビットレートと PSNR の関係を図 3 に示す。図 3 より、最高のレプリゼンテーションを選択できれば 33.8 [dB] の PSNR で映像を視聴でき、最小のレプリゼンテーションしか選択できなかったとしても 32.6 [dB] の PSNR での映像視聴が可能である。

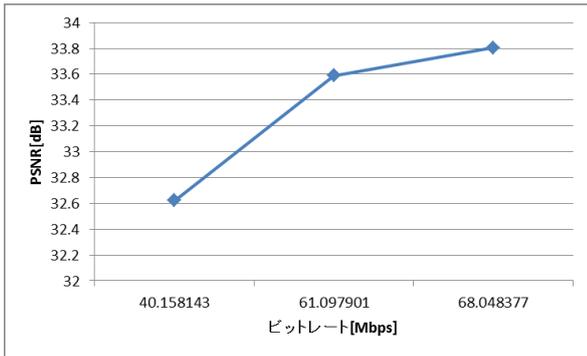


図3 実験に用いた 8K 映像の PSNR 特性

3.4 8K 映像の再送信に関する実機実験

本稿では、IEEE802.11ac におけるチャンネル幅およびユーザの視聴環境が通信速度、映像品質にもたらす影響を評価する。実験シナリオを表 1 に示す。実験シナリオ(a), (b) では、配信サーバと同一室内にユーザ端末が存在するが、ユーザの視聴状態が異なる。対して、実験シナリオ(c), (d) では、ユーザの視聴状態は同一であるが、配信サーバとユーザ端末間に障害物を持たせている。

表 1: 実験シナリオ

シナリオ名	チャンネル幅 [MHz]	ユーザの視聴状態
(a)	1	研究室内で静止
	2	
	3	
(b)	1	研究室内で徒歩移動
	2	
	3	
(c)	1	廊下で静止
	2	
	3	
(d)	1	別室で静止
	2	
	3	

(a) ユーザが研究室内で静止している場合の品質評価

まず、ユーザが研究室内で静止している実験シナリオ(a)について品質評価を行う。このシナリオ(a)における配信サーバとユーザ端末の位置関係を図 4 に、IEEE 802.11ac のチャンネル幅を変化させた際の実験結果を図 5 に示す。図 4 からわかるように、この実験シナリオ(a)は、理想的な環境を想定している。その結果、図 5 に示すように、チャンネル幅によってスループットは変動しているが、チャンネル幅によらず配信開始直後を除いて常に最高品質で再送信できていることがわかる。

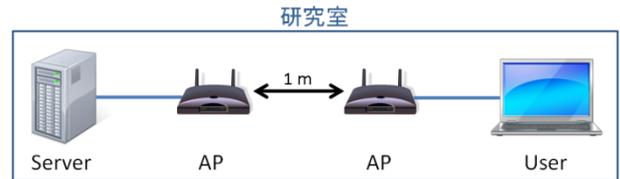


図 4 実験シナリオ(a)における実験環境
 (ユーザは研究室内で静止)

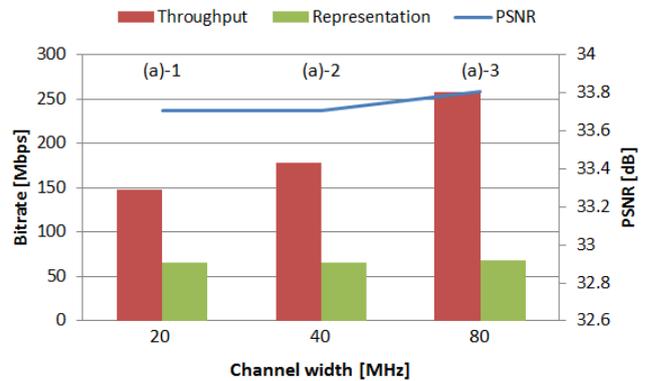


図 5 実験シナリオ(a)におけるスループット、レプリゼンテーション、PSNR の平均値

(b) ユーザが研究室内で徒歩移動している場合の品質評価

次に、ユーザが研究室内で徒歩移動している実験シナリオ(b)について品質評価を行う。このシナリオ(b)における配信サーバとユーザ端末の位置関係を図 6 に、チャンネル幅を変化させた際の実験結果を図 7 に示す。図 6 に示すように、このシナリオ(b)では、先のシナリオ(a)と異なりユーザは研究室内を徒歩で移動する。その結果、図 7 に示されているように、ユーザの徒歩移動の影響を受け、ユーザが静止している場合に比べるとチャンネル幅によらずスループットが低下していることがわかる。特に、チャンネル幅が 20 [MHz] の場合において、スループットの低下に伴い選択できたレプリゼンテーションの平均値が低下したため、PSNR が 0.2 [dB]低下している。

ここで、チャンネル幅が 20 [MHz] の場合について、シナリオ(a)と(b)におけるスループットとレプリゼンテーションの時間変動を図 8 に示す。図 8 より、ユーザが移動している場合は、静止している場合に比べてスループットは低下し、かつ時間変動が激しくなっていることがわかる。これは、ユーザの移動自体の影響および移動によって Wi-Fi AP 間の距離 (すなわち電波の伝搬距離) が大きくなり、RSSI が低下したことの影響である。実際、シナリオ(a)では、Wi-Fi AP 間の距離は 1 [m] であり、ユーザ端末側の Wi-Fi AP が受信できる電波の RSSI は -34 [dBm] であるのに対し、シナリオ(b)ではユーザの徒歩移動開始点 (Wi-Fi AP 間の距離は 2 [m]) で -45 [dBm]、移動終点 (Wi-Fi AP 間の距離は 6 [m]) で -59 [dBm] であった。このスループットの低下および時間変動が原因となり、レプリゼンテーションにも時間変動が生じている。

チャンネル幅が 40, 80 [MHz] の場合も同様に、シナリオ(a)

と(b)におけるスループットとレプリゼンテーションの時間変動をそれぞれ図9, 図10に示す. 20 [MHz]の場合と同様に, ユーザが移動したことによってユーザが静止している場合よりもスループットの平均値は低下し, 時間変動もあるが, 配信開始直後を除いてレプリゼンテーションが低下するほどスループットが低下しなかったことが, ユーザが静止している場合と等しいレプリゼンテーションおよびPSNRを維持できている理由である.

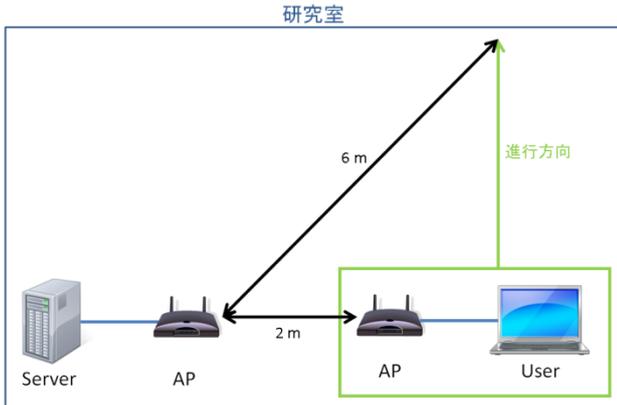


図6 実験シナリオ(b)における実験環境
 (ユーザは研究室室内を徒歩で移動中)

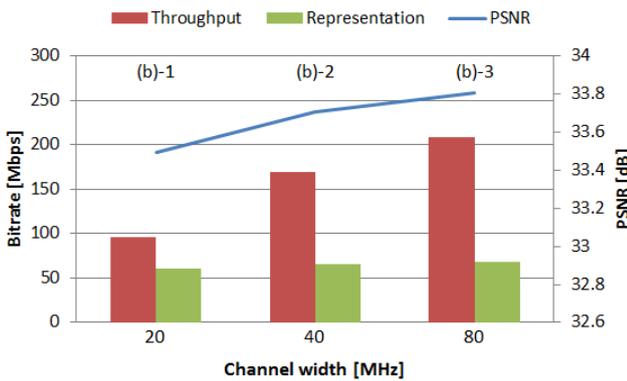


図7 実験シナリオ(b)におけるスループット, レプリゼンテーション, PSNRの平均値

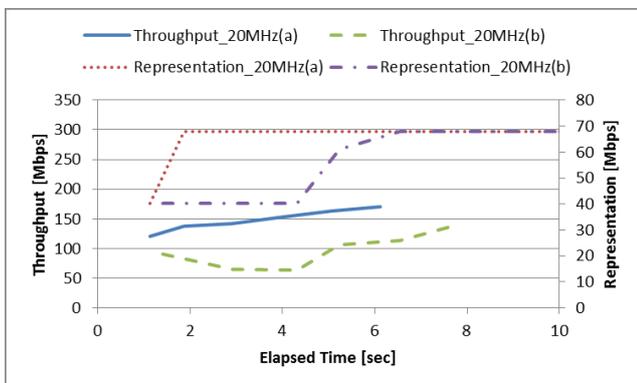


図8 シナリオ(a)と(b)におけるスループット, レプリゼンテーションの時間変動(チャンネル幅 20 [MHz]の場合)

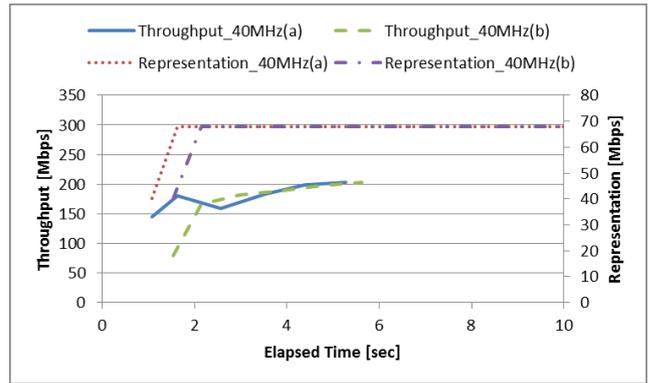


図9 シナリオ(a)と(b)におけるスループット, レプリゼンテーションの時間変動(チャンネル幅 40 [MHz]の場合)

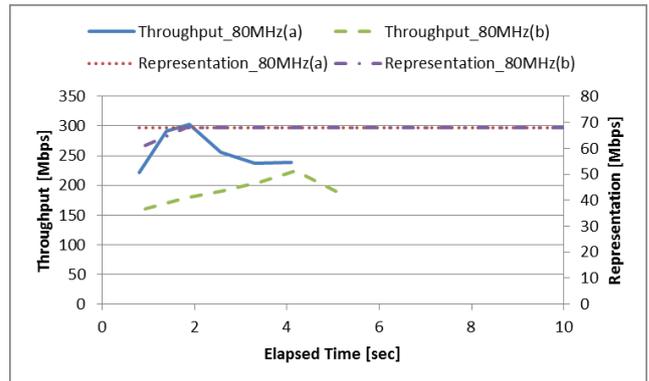


図10 シナリオ(a)と(b)におけるスループット, レプリゼンテーションの時間変動(チャンネル幅 80 [MHz]の場合)

(c) ユーザが廊下で静止している場合の品質評価

次に, 実験シナリオ(c), (d)では, ユーザ端末と配信サーバが同一の屋内に存在しない場合について品質評価を行う. まず, ユーザが研究室と同じフロアの廊下で静止している実験シナリオ(c)を評価する. このシナリオ(c)における配信サーバとユーザ端末の位置関係を図11に, チャンネル幅を変化させた際の実験結果を図12に示す. 図12より, ユーザが研究室室内で映像を視聴しているシナリオ(a)および(b)の場合に比べて, 大きくスループットが低下していることがわかる. このシナリオ(c)においてユーザ端末側の Wi-Fi AP が受信できる電波の RSSI は-90 [dBm]まで低下してしまっており, この RSSI の低下がスループット低下の原因である. また, RSSI の低下の原因としては, Wi-Fi AP 間の距離が長くなったこと, ユーザ端末側の Wi-Fi AP がサーバ側の Wi-Fi AP からの直接波の見通し外にあることであると考えられる. このスループットの低下に伴い, チャンネル幅が 20, 40 [MHz]の場合は常に最低のレプリゼンテーションしか選択できず, PSNR も最低値 (32.6 [dB]) であった. チャンネル幅が 80 [MHz]の場合においては, ユーザ端末が研究室室内にあればユーザの徒歩移動の有無にかかわらず常に最高のレプリゼンテーションを選択できていたのに対し, このシナリオ(c)ではレプリゼンテーションの平均値が 6.9 [Mbps] 低下し, それに伴い PSNR の平均値も 0.3 [dB]低下している. このように, チャンネル幅によらずユーザ端末が研究室

内にある場合に比べて品質が大きく低下したが、チャンネル幅が広がるほどスループットが高いという特性はユーザ端末が研究室に在る場合と同様である。本稿で実験を行った環境では、5 [GHz]帯のチャンネルには他のユーザがあまりおらず、十分な余裕があったことから、指定したチャンネル幅を有効活用できていると考えられる。

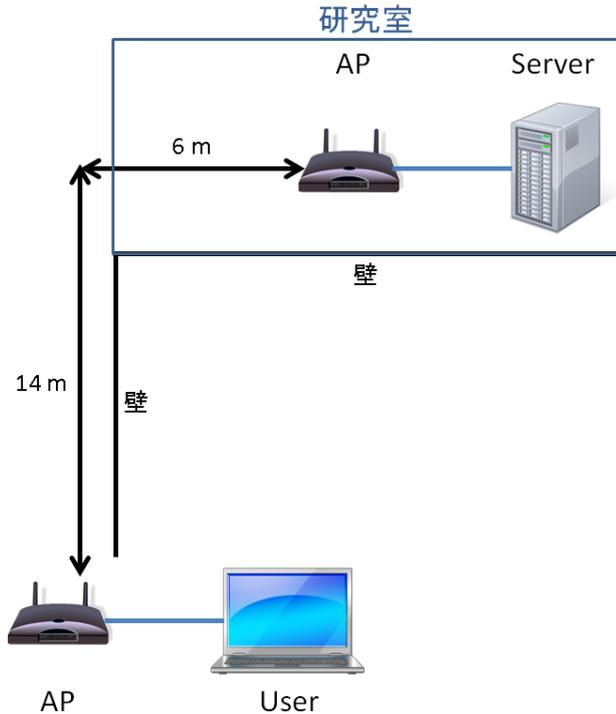


図 11 実験シナリオ(c)における実験環境
 (ユーザは廊下で静止)

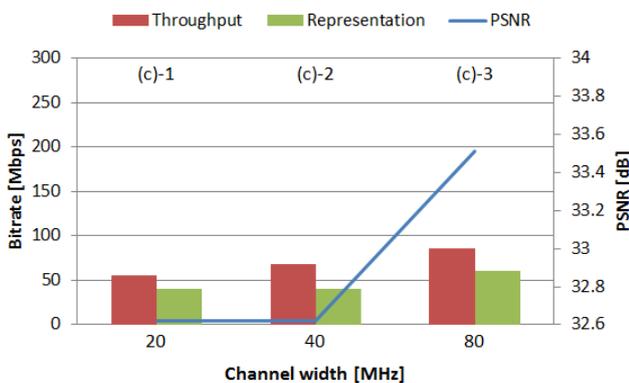


図 12 実験シナリオ(c)におけるスループット、レプリゼンテーション、PSNRの平均値

(d) ユーザが別室内で静止している場合の品質評価

最後に、ユーザが研究室と同じフロアの別室（研究室の隣の部屋）内にある実験シナリオ(d)について品質評価を行う。このシナリオ(d)における配信サーバとユーザ端末の位置関係を図 13 に、チャンネル幅を変化させた際の実験結果を図 14 に示す。図 14 より、ユーザが廊下で静止しているシナリオ(c)の場合と比べると、チャンネル幅によらずスループット、レプリゼンテーション、PSNR が高いことがわかる。廊下で静止している場合と同様に、Wi-Fi AP 間の通信は見

通し外通信となるが、RSSI がシナリオ(c)ほど低くないことがスループット向上の理由であると考えられる。実際、ユーザ端末側の Wi-Fi AP が受信できる電波の RSSI は-78 [dBm]であり、シナリオ(c)の場合よりも高い。また、他のシナリオと同様に、チャンネル幅が広がるほどスループットが高いが、この理由は他のシナリオにおける理由と同様である。

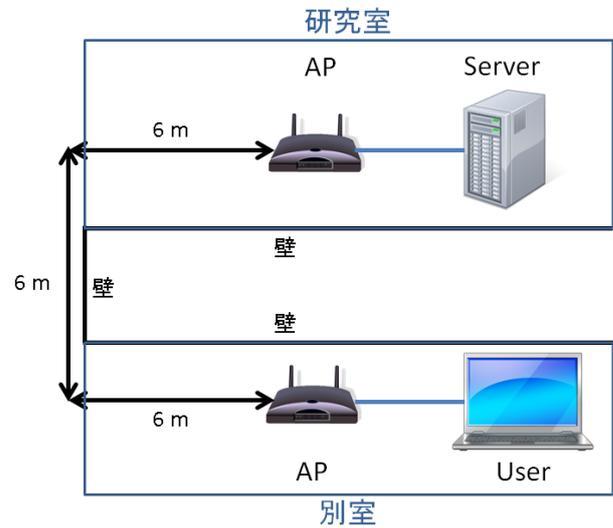


図 13 実験シナリオ(d)における実験環境
 (ユーザは別室内で静止)

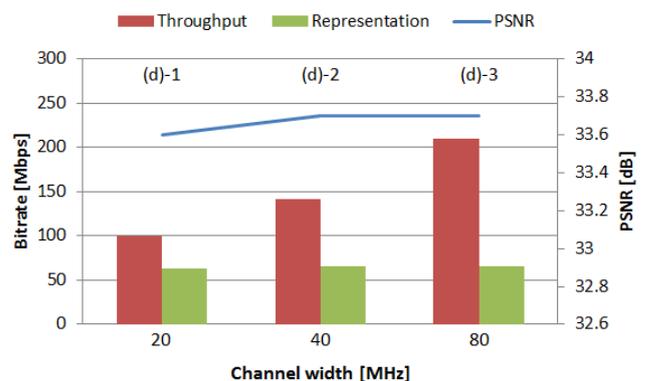


図 14 実験シナリオ(d)におけるスループット、レプリゼンテーション、PSNRの平均値

4. 結論と今後の課題

本稿では、放送・通信連携サービスの1つを想定し、Wi-Fi (IEEE802.11ac)ネットワーク上での MPEG-DASH を用いた 8K 映像再送信に関する実機実験による評価を行った。チャンネルボンディングや MIMO を用いることで、実用放送で想定されているビットレートでの 8K 映像再送信が可能であることが確認できた。ただし、屋内であっても Wi-Fi AP と別の部屋や廊下でユーザが映像を視聴する場合は通信距離が長くなることや見通し外通信となることによる RSSI の低下とスループットの低下が発生した。その結果、視聴できる映像のレプリゼンテーション、PSNR が低下することも確認できた。今後、無線周波数、Wi-Fi 規格、視聴ユー

ザ数を変化させて同様の実験評価を行うことが課題として挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H01684 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 4K・8K 推進のためのロードマップ[online]:
<http://channel4k.jp/future/index.html>
- 2) NHK Hybridcast [online]:
<http://www.nhk.or.jp/hybridcast/online/>
- 3) 原田臨太郎, 折橋翔太, 金井謙治, 松尾康孝, 甲藤二郎: Wi-Fi を用いた 8K 映像の家庭内再送信に関する品質評価, 映像情報メディア学会冬季大会 (Dec.2015).
- 4) I. Sodagar: The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet, IEEE Multimedia, vol.18, Issue 4, pp.62-67 (Apr.2011).
- 5) B. Rainer, et al.: A seamless web integration of adaptive HTTP streaming, in Proc. Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2012, pp.1519-1523 (Aug.2012).
- 6) Media Source Extensions [online]:
<http://w3c.github.io/media-source/>
- 7) O. Bejarano, E. W. Knightly, and M. Park: IEEE802.11ac: From Channelization to Multi-User MIMO, IEEE Communications Magazine (Oct.2013).
- 8) R.V. Nee: Breaking the Gigabit-per-Second Barrier with 802.11ac, IEEE Wireless Communications (Apr.2011)
- 9) Cisco Aironet 3700 Series [online]:
<http://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-3700-series/index.html>