

## 人の認知機能モデルを用いた MPEG-DASHにおけるビットレート制御手法

小南大智（大阪大学）

1

## 研究背景 - MPEG-DASH

- 動画配信サービスにおいて MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) が標準規格の一つとして普及
  - ・ クライアント端末の状況に応じて動画品質を動的に変更可能

cited from <https://bitmovin.com/dynamic-adaptive-streaming-http-mpeg-dash/>

- Adaptive bitrate アルゴリズムによるビットレート制御
  - ・ クライアントにおいてネットワーク品質等を推定
  - ・ 推定結果から次にダウンロードするセグメントのビットレートを決定

2

## 研究背景 - 動画視聴における QoE

- QoE (Quality of Experience)
  - ・ サービスに対するユーザの体感品質
  - ・ 動画配信サービスにおける QoE 向上の重要性が近年高まる
- 動画配信における QoE に影響を与える主な要因
  - ・ ビットレートの高さ・ビットレートの切り替わり頻度・動画の停止 (リバッファリング) 等
  - ・ QoE を向上・低下させる度合いはユーザによって異なる
- ユーザの動画品質に対する好みの把握
  - ・ ユーザへのアンケート実施
  - ・ 脳波などの生体情報を用いた推定

- ・ 高い動画品質
- ・ 安定した動画品質
- ・ 途切れない動画再生

QoE の高いユーザ

- ・ 低い動画品質
- ・ 頻繁な動画品質の切替
- ・ 動画再生の途中停止

QoE の低いユーザ

3

## 研究目的・課題

**研究目的**

ユーザの好みを考慮した動画視聴時の QoE の向上

**研究課題**

ユーザの好みに応じて適切な動画品質を提供する制御手法の実現

適切な動画品質の選択には、端末や通信環境の情報認知が必須

- ・ モバイル端末の通信環境はネットワーク品質が不安定
- ・ 品質推定の誤りが QoE の低下を招き得る

生体情報を用いた QoE の推定 (今回の発表とは別に取り組み中)

4

## アプローチ

- ネットワーク品質・アプリケーション情報を観測し、動画再生状態の良さを推定する
  - ・ 状態の推定に人の脳が認知を行う仕組みをモデル化した Bayesian attractor model を用いる
- 推定結果に応じて次のセグメントのビットレートを決定
  - ・ ユーザの好みは推定可能であると仮定して、さまざまなユーザの好みに応じたビットレートの決定方法をあらかじめ準備しておく

1. 動画を受信
2. 動画セグメントダウンロード時にネットワーク品質およびアプリケーション情報を観測し、状態推定を行う
3. 推定結果およびユーザの好みに応じたビットレートを推定し、端末に伝える
4. エージェントが選んだ品質の動画を要求

5

## Bayesian Attractor Model (1)

- 人の脳が知覚情報に基づいて情報を認知する仕組みをモデル化<sup>[1]</sup>

**システムモデル**

- ・ 脳の内部状態を状態空間モデルで表現
- ・ 状態空間中の「アトラクター」と特徴量空間中の「記憶した情報」が対応

[1] S. Bittzer, J. Bruineberg, and S. J. Kiebel, "A bayesian attractor model for perceptual decision making," PLoS Computational Biology, 2015.

6

### Bayesian Attractor Model (2) 7

■ 人の脳が知覚情報に基づいて情報を認知する仕組みをモデル化  
システムモデル

- 内部状態がアトラクター  $k$  (の近傍) にあるとき、特徴量空間上では記憶した情報  $k$  と一致するように設計

脳の内部状態を表す空間

特徴量空間

記憶した情報 1      記憶した情報 2

[1] S. Bittzer, J. Bruineberg, and S. J. Kiebel, "A bayesian attractor model for perceptual decision making," PLoS Computational Biology, 2015.

### Bayesian Attractor Model (3) 8

■ 人の脳が知覚情報に基づいて情報を認知する仕組みをモデル化  
認知・意思決定モデル

- 情報の観測により内部状態が変わっていくことで認知を表現
- 内部状態がアトラクターの底に近いほど**確信度**が高くなる
- モデルとしては観測情報に基づき内部状態を推定している
- 内部状態の確率分布をベイズフィルタ (粒子フィルタ) で逐次推定

観測情報

脳の内部状態を表す空間

特徴量空間

記憶した情報 1      記憶した情報 2

### Bayesian Attractor Model (4) 9

■ 人の脳が知覚情報に基づいて情報を認知する仕組みをモデル化  
認知・意思決定モデル

- 非線形システムの状態推定を行うため粒子フィルタを利用
- 逐次推定により状態推定が行われる様子が以下の図
  - ① アトラクターの傾きに従って動く方向へ更新
  - ② 観測情報に近い記憶を出力するアトラクターに向かう方向へ更新

観測情報

脳の内部状態を表す空間

特徴量空間

記憶した情報 1      記憶した情報 2

### Bayesian Attractor Model (4) 10

■ 人の脳が知覚情報に基づいて情報を認知する仕組みをモデル化  
認知・意思決定モデル

- 非線形システムの状態推定を行うためパーティクルフィルタを利用
- 逐次推定により状態推定が行われる様子が以下の図
  - ① アトラクターの傾きに従って動く方向へ更新
  - ② 観測情報に近い記憶を出力するアトラクターに向かう方向へ更新

観測情報

脳の内部状態を表す空間

特徴量空間

記憶した情報 1      記憶した情報 2

### 提案手法 - BAM による情報の認知 11

■ 認知する状態：動画再生状態の良さ

- 特徴量として利用可能帯域と再生バッファ長を用いる
  - ただし利用可能帯域は、アプリケーション層から直接計測できないため、動画セグメントを受信することの goodput を推定値として用いる
- アトラクターに記憶させる利用可能帯域と再生バッファ長の値
  - 利用可能帯域 : DASH で選択可能な  $n_{br}$  種類のビットレート (Mbps)
  - 再生バッファ長 :  $n_{bf}$  段階設定した長さを設定 (s)

→ 今回は、これらの全組み合わせ ( $n_{br} * n_{bf}$ ) をアトラクターに記憶させる

1. BAM へ観測情報の入力

2. ダウンロードするセグメントのビットレートを選択

### 提案手法 - ユーザの好みに応じたビットレートの決定 12

■ 認知した状態 (利用可能帯域と再生バッファ長) およびユーザの好みに応じてビットレートを決

■ ユーザの好みのタイプ例として以下の2種類を想定

- ビットレートの高さを比較的重視
- ビットレートの変動の低さを比較的重視

推定結果に対して  
選ばれるビットレートを決定

**ビットレートの高さを比較的重視**

- バッファに余裕がある限り、積極的に高いビットレートを選択
- バッファに枯渇の恐れがある際は認知した利用可能帯域よりも低いビットレートを選択

**ビットレートの変動の低さを比較的重視**

- バッファに余裕がある際は、認知した利用可能帯域を超えない程度の高さでビットレートを維持
- バッファに枯渇の恐れがある際は認知した利用可能帯域よりも低いビットレートを選択

### 13 提案手法 - ユーザの好みに応じたビットレートの決定

■ 認知した利用可能帯域と再生バッファ長およびユーザの好みに応じてビットレートを決定

■ ユーザの好みのタイプ例として以下の2種類を想定

- ビットレートの高さを比較的重視
- ビットレートの変動の低さを比較的重視

**推奨結果に対して選ばれるビットレートを決定**

Bayesian attractor model

**ビットレートの高さを比較的重視**

- バッファに余裕がある限り、積極的に高いビットレートを選択
- バッファに枯渇の恐れがある際は認知した利用可能帯域よりも低いビットレートを選択

**ビットレートの変動の低さを比較的重視**

- バッファに余裕がある際は、認知した利用可能帯域を超えない程度の高さをビットレートを維持
- バッファに枯渇の恐れがある際は認知した利用可能帯域よりも低いビットレートを選択

### 14 性能評価

■ シミュレーションと実機による評価

- サーバ側設定
  - 動画のビットレート: 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 5.0 [Mbps]
  - セグメントサイズ: 1 [s]
- クライアント側設定
  - $n_{br}$  を 5 に設定: 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 5.0 [Mbps] } アトラクター数 = 15
  - $n_{bf}$  を 3 に設定: 10, 30, 50 [s]
- ネットワーク環境の変動: 利用可能帯域を 30 秒ごとに切り替える
- 再生開始時点から 9.0, 4.0, 2.0, 1.0, 2.0, 4.0 [Mbps] を繰り返す
- 平均0, 標準偏差が帯域の 10% or 30% のホワイトノイズを付与

■ 評価指標

- QoE に影響を与える要因となる指標で提案手法を評価
- 平均ビットレート: 視聴した動画サイズの合計を視聴時間で割った値
- ビットレートの平均変動: 動画 1s あたりのビットレート変化量の絶対値
- リバフティング時間: 動画の再生停止時間の合計

■ ベンチマーク

- BOLA-O<sup>[2]</sup>: MPEG-DASH のクライアントアプリケーションの参照実装である dash.js に実装されているアルゴリズム

[2] K. Sptieri, R. Ugoonkar, and R. K. Sitarman, "BOLA: Near-optimal bitrate adaptation for online videos," in Proceedings of IEEE INFOCOM, July 2016.

### 15 評価結果 - シミュレーション

■ BAM を用いた情報認知の例

- 観測情報のノイズには影響されず認知結果が安定して得られている
- 観測情報の大きな変化には追従している

BAM による利用可能帯域の認知結果

BAM による再生バッファ長の認知結果

### 16 評価結果 - シミュレーション

■ ビットレート選択指針が異なる場合の動作例

- ビットレートの高さを比較的重視するユーザに対して、バッファに余裕がある限り、高いビットレートを選ぶように動作している
- ビットレートの変動の低さを比較的重視するユーザに対して、ビットレートが切り替わらないように動作している

Prefer high image quality

Prefer stable image quality

### 17 評価結果 - シミュレーション

平均ビットレートの比較

ビットレート平均変動の比較

■ BOLA との性能比較

- BOLA と比較して、ユーザの好みに応じたビットレート選択方法を用いることで、ユーザの好みによってより良い動画品質の提供が実現できている
- リバフティング時間については、BOLA はノイズが増えるほど増加したが、提案手法ではいずれの方法でも発生しなかった

### 18 評価結果 - 実機を用いた実験

■ ビットレート選択指針が異なる場合の性能比較

- LAN 上でサーバとクライアントを接続
- tc tool で帯域の最大値を設定 (シミュレーションと同様に)
  - profile 1: 5.0, 4.0, 3.0, 2.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 と変化
  - profile 2: 9.0, 4.0, 2.0, 1.0, 2.0, 4.0, 9.0 と変化 (Mbps)
- ノイズはシミュレーションと同様
- シミュレーションと同様の性能を確認

Average bitrate (Mbps)

Average bitrate variations (Mbps)

## まとめと今後の課題

19

### ■ まとめ

- ユーザの好みを考慮して動画視聴時の QoE を向上する手法を提案
  - 適切な動画品質を選択するために脳の認知モデルにより情報認知を行った
  - 認知結果とユーザの好みに基づきビットレートを決定する方法を提案した
- シミュレーション評価により、ユーザの好みに応じて既存手法より優れた性能を実現できることを示した
- 実機による評価
  - dash.js とソケット通信を行い BaM によるビットレート選択を行うエージェントを実装
  - シミュレーション同様に、ユーザの動画品質に対する好みに応じたビットレートの選択が実現できていることを確認
  - LAN 内での実験に留まっており、今後はWANを経由した評価実験を行う