

Real-time QoE estimation method using EEG for video delivery services

大阪大学 大学院情報科学研究科 村田研究室
北尾花純

1

研究背景

- 動画配信サービスの急速な普及
 - ビデオ・オンデマンドサービスやオンライン会議システムの需要の高まり
 - IP videoトラフィックは2017年から2022年までに4倍に増加^[1]
 - 動画配信サービスの評価指標としてユーザ体感品質 (QoE) が注目される
 - QoEに基づくレート制御手法の登場^[2]
- レート制御への利用に向けた QoE 推定の課題
 - QoEに対するユーザの内的要因 (ユーザの意向、気分、期待) を考慮した上で、映像の品質変化に起因する QoE の変化を敏感に把握することが必要

[1] Chen, "Clear Video Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022"
[2] A. Baidya, A. C. Ryan, R. Zimmerman, and S. Hames, "DASH as SDN-enabled architecture to optimize QoE in HTTP adaptive streaming," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 16, no. 10, pp. 3128-3131

2

研究の目的とアプローチ

- 研究の目的
 - 実時間 QoE 推定手法の確立
- アプローチ
 - 脳波情報 (EEG) に基づく QoE 推定
 - 非侵襲的に実時間で計測可能な生体情報の一つとして選定
 - 人間の感情や認知状態と深く関連
- 研究ステップ
 - QoE 推定モデルの設計
 - 映像視聴中の EEG・QoE データの収集と推定精度の評価
 - 推定 QoE を用いた動画レート制御の実装・検証
 - MPEG-DASH を用いたシステムによる検証

3

想定する動画配信システム

- MPEG-DASH における EEG に基づく QoE 推定モデルを利用したレート制御
 - MPEG-DASH: HTTPサーバを用いたアダプティブストリーミング技術

QoE 推定モデル

再生品質の変化 → 品質変化の認知を検出 (P300 検出) → QoE 分類

※ P300: 低頻度の注目刺激の知覚から約 300ms 後に頭頂部付近で現れる瞬時的な電位変化

品質変化の認知を検出: 事象関連電位 P300 の利用 → 検出の有無により品質変化の認知を判定

QoE 分類: 直近 2 秒間の EEG の周波数成分情報から SVM により QoE を判定

要求品質の変更 → クライアント (MPEG-DASH) → HTTPサーバ (セグメントを配信)

クライアント ← セグメントを配信 ← HTTPサーバ

4

QoE 推定モデルの構成方法

- EEG データと QoE データをもとに実時間 QoE 推定モデルをユーザごとに構成

EEG データ → プリプロセッシング (平均減算, バンドパスフィルタ) → 品質変化の認知を検出 (P300 検出) → QoE 分類 (特徴量抽出: PSD, 周波数帯域別パワー比, 特徴量選択: 遺伝的アルゴリズム) → 分類器学習 (サポートベクターマシン) → QoE 判定 (good/bad)

5

P300 による映像品質変化の認知の検出方法

- 頻度が稀な刺激に対して応答的に生じる電位変化 P300 を利用し品質変化の認知を検出
 - 注目している刺激の表示から約 300ms 後付近で出現
 - 映像の品質評価への応用^[1]
 - 注目を促していない刺激 (受動タスク) に対しては振幅が減衰^[4]
 - 動画配信視聴中の品質変動に対する P300 応答の大きさは未知
- P300 の検出方法^[5]
 - 閾値を用いた判定により検出
 - EEG 信号の振幅平均と標準偏差から閾値を決定

図: P300 の検出方法。横軸: duration [ms] (-1000 ~ 2000), 縦軸: 電位 [mV] (-5 ~ 15)。刺激発生時刻 (0ms) 付近に P300 電位変化が観察される。注: 映像品質の認知 (品質変化幅 200-1000 ms)。

[1] X. Liu, X. Tao, and Y. Zhao, "Calibrating human perception threshold of video distortion using EEG," Proc. IEEE ICIP, Oct. 2018, pp. 1543-1547.
[4] J. V. Bregman and J. P. Pich, "Comparison of P300 from passive and active tasks for auditory and visual stimuli," Int. J. of Psychophysiology, vol. 24, pp. 109-117.
[5] H. H. Jansen, A. Allum, F. Klotz, K. Lachaux, A. Ohno, and K. Sundebraker, "An exploratory study of factors affecting single trial p300 detection," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Jan. 2004

6

QoE 分類：特徴量抽出

- 14 チャンネル EEG データから 2 秒のハミング窓を用いて特徴量を計算
- EEG センサーの各チャンネルで抽出する特徴量
 - 周波数帯別パワー比
 - 脳波全体のパワーに対する θ 波、 α 波、 β 波それぞれのパワー比
 - パワースペクトル密度 (PSD: Power Spectral Density)
 - 単位周波数 (1Hz) ごとのパワー分布
 - θ 波 (4-8Hz)、 α 波 (8-12.5Hz)、 β 波 (12.5-30Hz)、total (4-30Hz)
 - 平均、分散、最大値、最小値、最大時間周波数
 - 離散 Wavelet 変換 (DWT: Discrete Wavelet Transform) 出力に基づく統計量
 - 基底関数にウェーブレット関数を用いた時間周波数解析手法
 - DWT のレベル 2 から 4 の成分に対し平均、分散、最大値、最小値の 4 種類を計算

7

QoE 分類：特徴量選択

- 遺伝的アルゴリズム (GA) により QoE 推定に適した特徴量の組み合わせを選出
 - 適応度 (3 分割交差検証の平均精度) を優先して選択・交叉・変異を繰り返し、推定性能を進化
 - 被験者ごとに最も適応度の高い組み合わせを抽出し SVM 分類器を学習

8

EEG・QoE データ収集実験

- 映像視聴中の EEG・QoE データを計測
 - 映像: LFOVIA Database^[5]
 - 18種類・2 パターンの品質変動加工が施された36種類の映像
 - 各映像の再生ビットレート
 - EEG データ計測
 - Emotiv EPOC X: 14 チャンネル, 128Hz EEG Data
 - QoE データ計測
 - SSCQE 法 (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation) を参考にスマートフォンアプリを有成品計測
 - 映像視聴中 0-100 の間で品質評価を連続的に入力
 - 値は 0.5s ごとに記録
 - 計測を行わないグループも設定
 - QoE の入力を行うことで能動タスクになる可能性を考慮
- 計測用デバイス・動画再生端末は NTP により時刻同期

[5] N. Emea, M. Masuda, K. A. Kommineni, S. Chakraborty, H. P. Sethuram, K. Kuri, A. Kumar, S. S. Channappayya, "A Continuous QoE Evaluation Framework for Video Streaming over HTTP," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (CSVT), DOI:10.1109/TCST.2017.2742801.

9

評価：QoE 分類

- RBF-SVM により分類器を学習し精度を評価
 - 選択特徴量数: 10 個
 - QoE の値上位 25% を Good, 下位 25% を Bad として Good/Bad を分類
 - Bad の再現率 (Recall) を評価
 - QoE の低下に着目するため
 - 最大 76.0% 平均 49.3%
 - 推定精度の個人差が大きい
 - QoE の判断基準の個人差が影響

10

評価：P300 の検出

- 閾値を超過した時刻と LFOVIA ビデオクリップの再生ビットレートの変動を比較
 - オレンジ: 閾値超過, 青: 再生ビットレート
 - 閾値: 平均振幅 + 3 σ
- ビットレートの変化直後に閾値を超過する信号が集中
 - ユーザの品質変化に対する認識を反映
- 品質変動直後に検出されないケースも存在
 - 品質変動を認識していない
 - 品質変動を認識しているが閾値を超えるほどの振幅が現れない

11

まとめと今後の課題

- まとめ
 - 映像視聴中の EEG・QoE データを収集
 - QoE 推定モデルの実装・評価
 - QoE 判定: QoE の悪化を最大 76.0% の再現度で推定
 - 推定精度の個人間のばらつきが大きい
 - 品質変動の認知検出: ビットレートの変動の直後に P300 が検出
 - 推定 QoE 情報を用いた映像レート制御の実装
- 今後の課題
 - EEG のプリプロセッシングによる SN 比向上
 - 情報を組み合わせた QoE 分類器の学習
 - QoE 分類と品質変動の認知検出を組み合わせた際の推定精度の評価

12