

量子意思決定モデルに基づく 動画視聴ユーザを対象とした 時間発展を伴う認知バイアスのモデル化と評価

大阪大学基礎工学部情報科学科4年 村田研究室
西澤夏実

特別研究報告発表会

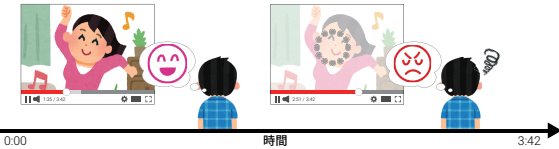
2020/02/18

研究背景

- 動画コンテンツ配信サービスの普及
 - 例: YouTube / Netflix
- 各ユーザに合わせたサービス品質最適化への取り組み
 - 同じネットワーク品質でもサービスに対する満足度は様々
 - ユーザの感情やコンテンツ内容に依存
 - 体感品質 (QoE: Quality of Experience) の活用
 - QoE: ユーザの主観的なサービス品質に対する評価を表す指標
- 認知バイアスを考慮した QoE モデルが必要
 - QoE は認知バイアスに影響される
 - 認知バイアス: 人が物事を認知する上で生じる、非合理的な判断につながるバイアス
 - モデルによる QoE の推測が必要
 - 全てのユーザの QoE を実測することは困難なので、モデルにより推測
- 量子意思決定の検討
 - 認知バイアスをモデル化する手法として注目

量子意思決定とその課題

- 量子意思決定
 - 人間の心理状態を量子状態と対応させてモデル化する手法
 - さまざまな認知バイアスを包括的にモデル化することが可能
 - 例: 順序効果^[1] / ギャンブラーの誤謬^[2]
- 量子意思決定を動画視聴ユーザに応用する際の課題
 - 新たな情報を受け取ることによる状態の時間発展に関する議論が不十分
 - 動画視聴中に認知状態は刻々と変化
 - 時間の経過に伴う認知状態の変化を考慮したモデルが必要



[1] Trueblood, J.S. and Bussemeier, J.R. (2011), A Quantum Probability Account of Order Effects in Inference. *Cognitive Science*, 35: 1518-1552.
[2] Franco, R. (2008). Belief revision in quantum decision theory: Gambler's and hot hand fallacies. *arXiv preprint arXiv:0803.4472*.

研究の目的とアプローチ

- 目的
 - 時間発展を含む動画視聴ユーザの認知バイアスを表現するモデルを構築
 - 認知バイアス存在下での QoE 向上を可能とする要因を明らかにする
- アプローチ
 - 認知科学で検討されてきた時間発展に関する知見を量子意思決定に導入
 - QoE の実データをを用いて提案モデルを評価
 - 動画視聴ユーザに現れる認知バイアスの考察

動画視聴ユーザの QoE モデル

- 量子意思決定による認知状態のモデル化
 - 選択肢 $[A, B]$ のいずれかを選択する意思決定を仮定
 - 人間の意思決定は確率的に行われる
 - 意思が未決定の認知状態から、特定の選択肢を選択する認知状態へ確率的に推移
 - 意思が未決定の認知状態を重ね合わせ状態で表現
 - 選択肢 A を $|p_1|^2$ の確率、選択肢 B を $|p_2|^2$ の確率で選択する状態

$$|\psi\rangle = p_1|a_1\rangle + p_2|a_2\rangle$$
 - 動画視聴ユーザの QoE モデルへの応用
 - ユーザの QoE が良い状態 $|g\rangle$ と悪い状態 $|b\rangle$ を定義
 - 動画視聴ユーザの認知状態 $|\psi\rangle = p_1|g\rangle + p_2|b\rangle$ のいずれかを確率的に選択する状態

$$|\psi\rangle = p_1|g\rangle + p_2|b\rangle$$
 - QoE: $|g\rangle$ を選択する確率 $P(g)$
 - $P(g)$ は $[0, 1]$ の数値
 - 評価の際は QoE の実データの範囲に合うよう正規化して使用

$$P(g)' = \frac{P(g) - \min(P(g))}{\max(P(g)) - \min(P(g))} (\max(Q) - \min(Q)) + \min(Q)$$
- p_1, p_2 : 確率振幅
 Q : ある動画内の実際の QoE スコア

時間発展を伴う認知状態変化のモデル化

- 時間変化を含む認知バイアスを QoE モデルに導入
 - 認知バイアスの例: アンカリング効果
 - 意思決定を行う際、直前に与えられた情報の影響を強く受ける現象
 - アンカリング効果の数理モデル^[3]を基に量子意思決定によるモデルを構築
 - アンカリング効果の数理モデル
 - 認知状態の更新を推定対象 x に対する推定値 \hat{x} の更新として表現

$$x_{t+1} = x_t + \delta \quad (\text{if } P(x_t + \delta|K) > P(x_t|K))$$
 - 量子意思決定によるアンカリング効果のモデル化
 - 量子状態における時間発展 (シュレディンガー方程式) で表現

$$i\hbar \frac{d}{dt} |x(t)\rangle = \hat{H} |x(t)\rangle$$
 - 全知識 K は正規分布に従うと仮定
 - 平均: ビットレートの単調増加関数 $\mu(r) = \alpha_n$

$$P(x|r) \sim N(\mu(r), \sigma^2)$$
- δ : サンプル点のランダムな変異
 K : 推定対象 x に関する全知識
 \hbar : ハミルトニアン
 i : 虚数単位
 δ : ディラック定数
 r : 時刻 t におけるビットレート
 μ : ある動画におけるビットレートの最大値
-

[3] Lieder, F., Griffiths, T.L., M. Hays, G.J. et al. The anchoring bias reflects rational use of cognitive resources. *Psychon Bull Rev* 25: 322-349 (2018).

QoEの実データを用いた評価

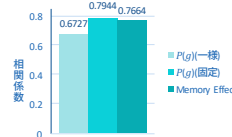
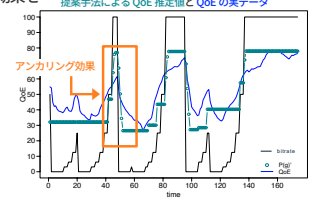
- 評価対象
 - 提案モデルによる時間発展を伴う認知バイアスの再現性
 - 評価指標: 提案モデルによる QoE 推定値と QoE の実データの相関
- 評価方法
 - 提案モデルに基づいたシミュレーションを行い、QoE 推定値を計算
 - モデルへビットレートを入力
 - データセットの QoE スコアを QoE の実データとして使用
- データセット: LFOVIA Video QoE Database^[4]
 - 動画 (mp4 形式, 36本)
 - 周期的なビットレートの低下や上昇を含むように加工
 - ビットレート (数値列)
 - 1秒ごとに時系列で記録
 - QoE スコア (数値列)
 - 被験者 21 人が実際に 36 本の動画を視聴して報告した QoE スコアの平均
 - 1秒ごとに時系列で記録
 - [0,100] の値で表され、0が最低、100が最高の QoE



[4] N. Eswara et al., "A Continuous QoE Evaluation Framework for Video Streaming Over HTTP," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 28, no. 11, pp. 3236-3250, Nov. 2018.

評価結果

- 提案モデルにより時間発展を伴う認知バイアスの表現が可能
- 実データに含まれるアンカリング効果を提案モデルで再現
 - ビットレートの変動から少し遅れて QoE 推定値が変動
 - 36 本中 29 本の動画で、提案手法による QoE 推定値と QoE の実データの間に高い相関 (相関係数 0.7 以上) がみられた
- 認知バイアスを導入した既存の QoE モデル[s]と比較評価
 - パラメータによっては既存モデルより高い相関を得た

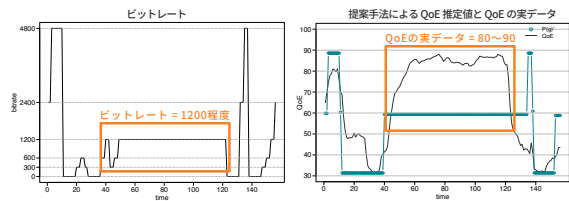


- $P(g)$ (一様): 全ての動画に対して同じパラメータを適用
- $P(g)$ (固定): それぞれの動画に対して最適なパラメータを適用
- 既存の QoE モデル: Memory Effect (時間発展を含む認知バイアス) を導入

[5] Duc, Tho Nguyen et al., "Modeling of Cumulative QoE in On-Demand Video Services: Role of Memory Effect and Degree of Interest," Future Internet 11 (2019): 171.

推定誤差の大きいデータに関する考察

- 提案手法による QoE 推定値と QoE の実データのずれが大きい場合
 - 動画視聴ユーザにアンカリング効果以外のバイアスが存在する可能性
- 中間的なビットレートが長時間続くデータ
 - バイアス
 - ビットレートが低い値でも、長時間同じ値が保たれていると QoE が高く認知される
 - QoE を向上可能な制御方法
 - 安定的に高いビットレートで動画を配信するのが難しい場合は、多少低い値であっても安定的に提供できる値に調整



まとめと今後の課題

- まとめ
 - アンカリング効果を取り入れた QoE モデルを構築
 - 動画データセットを用いてシミュレーション
 - 多数の動画データにおいて高い精度で QoE が予測可能
 - 一部の動画データではアンカリング効果以外のバイアスとみられる QoE 変動を確認
 - アンカリング効果以外のバイアス
 - ビットレートの値が低くても、長時間同じビットレートが保たれている状態では QoE が高く認知される
 - 瞬間的なビットレートの低下に対して QoE があまり低下しない
 - 動画コンテンツの内容に起因する QoE の変動
 - QoE 制御の可能性
 - ビットレートを高く保つことが難しい場合、低い値で安定的に提供
 - ビットレートの低下を瞬時に回復
- 今後の課題
 - QoE 推定精度の向上
 - アンカリング効果以外のバイアスを組み入れた QoE モデルの構築
 - 提案モデルを用いた QoE 制御