

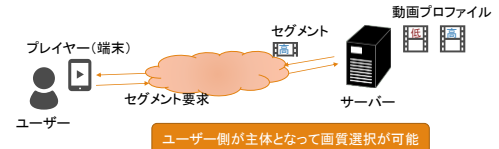
量子意思決定に基づく 動画ストリーミング時の ビットレート選択補助手法

大歳達也, 村田正幸

大阪大学大学院情報科学研究科

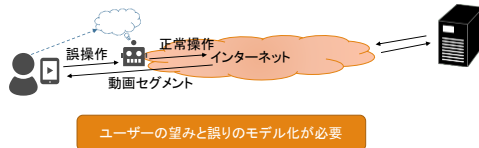
動的適応型ストリーミング

- 状況に応じたレートの切り替え
 - 途中停止などを避けた連続的再生
- MPEG-DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)
 - サーバーは複数が動画プロフィールを保持
 - 動画は一定間隔毎のセグメントに分割
 - ユーザー端末上のプレイヤーで動的にプロフィールを指定



エージェントによるQoE制御

- ユーザー自身による選択
 - ユーザーの望みに近いものが選ばれる
 - 人が行いやすい誤りが含まれる
- エージェントによる誤りを避けた選択
 - ユーザーの望みを尊重しつつ誤りを修正



ユーザー認知・決定のモデル化と課題

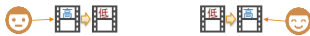
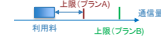
- 体感品質(QoE)のモデル化^{[1],etc}
 - ユーザーの満足度を数値化
 - 通信品質(QoS)やユーザーの主観的要因(好きなジャンル等)に回帰
- QoEや行動の決定に心理的效果が影響
 - 一定の状況において系統的な偏りが存在



^[1] T. Yamazaki, T. Miyoshi, M. Eguchi, and K. Yaman, "A service quality coordination model bridging QoS and QoE," in IEEE 2008 International Workshop on Quality of Service (IWQoS), IEEE, 2008, pp. 1-6.

インターネットユーザーの心理効果

- 損失回避
 - 通信量に合わない過度に安全側の料金プランの選択^[2]
- 順序効果
 - 動画を見る順番と体感品質^[3]
- 認知不協和
 - 動画レートの選択の有無と体感品質^[4]



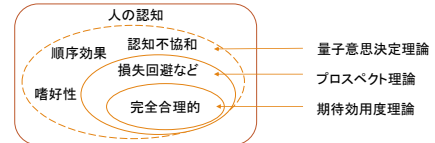
^[2] S. Sanojiri, R. Ermielli, V. & Papagiamaki, "Cognitive bias in network services," in Proceedings of the 11th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, 2012.

^[3] Hoffrage, U., Biedermann, S., Schick, R., Pecher, A., Egger, S., & Rindler, M. "The memory effect and its implications on Web QoE modeling," in Proceedings of Teletraffic Congress (ITC), 2013.

^[4] Sach, A., Zwickl, P., Egger, S., & Reichl, P., "The role of cognitive dissonance for QoE evaluation of multimedia services," in Proceedings of GLOBECOM Workshops, 2012.

目的とアプローチ

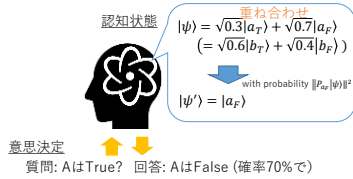
- 目的
 - 心理的な効果を含めたユーザーの認知・意思決定のモデル化
 - モデルを用いて適切な選択に誘導
- アプローチ
 - 量子意思決定^{[5],etc}によりユーザーをモデル化
 - モデルの振る舞いに基づいて適切な選択に誘導



^[5] J. M. Havenry and J. R. Busemeyer, "Quantum cognition and decision theories: A tutorial," Journal of Mathematical Psychology, vol. 74, pp. 99-116, 2016. Foundations of Probability Theory in Psychology and Beyond.

量子意思決定

- 認知状態に応じて確率的に意思決定
- 意思決定によって認知状態が変化する

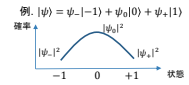


7

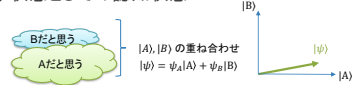
量子状態

- 定義
 - 量子状態: $|\psi\rangle \in \mathcal{H}$
 - \mathcal{H} は複素ヒルベルト空間

- 重ね合わせ状態
 - $|\psi\rangle = \psi_1|\psi_1\rangle + \psi_2|\psi_2\rangle$
 - $|\psi_1|^2, |\psi_2|^2$: 確率振幅



- 量子状態としての認知状態



8

量子観測

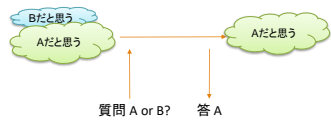
- 確率振幅に応じた確率で観測値が決定

- 観測値 A を得る確率
- $P(A|\psi) = |\langle A|\psi\rangle|^2$

- 観測後に確率が収束

- 測定値 A を得た際に状態が $|A\rangle$ に推移
- 直後と同じ測定を行うと必ず測定値 A が得られる

- 量子観測としての意思決定



9

量子意思決定によるユーザーモデル

- 認知状態

- 選択可能な動画プロフィールの重ね合わせ状態
- $|\psi\rangle = \psi_H|q_H\rangle + \psi_M|q_M\rangle + \psi_L|q_L\rangle$

- 意思決定

- $P(a_i|\psi_c)$ の確率で画質 a_i を選択



10

認知状態の更新

- 量子強化学習^[6]

- 特定の観測値の確率振幅を増幅

$$|\psi(t+1)\rangle = Q(x)|\psi(t)\rangle$$

$$Q(x) = (Q_2 Q_1(x))^\dagger$$

$$Q_1(x) = I - (1 - e^{-\phi_1})i\pi\sigma_x$$

$$Q_2 = (1 - e^{-\phi_2})|\psi(t)\rangle\langle\psi(t)|$$

- Q_2 : 増幅する状態

$$L = F(q_i), \phi_1 = \phi_2 = 0.15\pi$$

- 状態更新のモデル化

- 情報を得ることで合理的な選択をする確率が高まるものとしてモデル化

- $q_i = \text{argmax } F(q_i)$ の振幅を量子強化学習により増幅

$$F(q) = \sum_t [q(t) - \lambda|q(t+1) - q(t)| - \lambda_d d(t)] - \lambda_s s$$

$$F(q_i): q_i \text{ を選んだ場合の } QoE^{[7]}$$

(心理的な効果を除く)

$q(t)$: 動画のビットレート
 $d(t)$: リバフティング時間
 s : プレイアウト時間

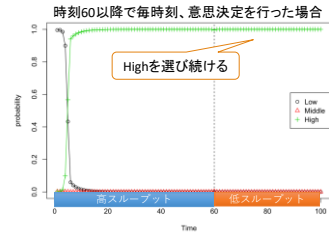
[6] J. R. Busemeyer and P. D. Bruza, Quantum models of cognition and decision. Cambridge University Press, 2012.
 [7] X. Yin, A. Jindal, V. Sekar, and B. Sinopoli, "A control-theoretic approach for dynamic adaptive video streaming over http," in Proceedings of SIGCOMM, 2015, pp. 325-338.

11

モデルの挙動: 量子ゼノ効果

- 短時間に選択を繰り返すと同じ選択肢を選ぶ現象

- 心理学実験によっても確認されている^[6]



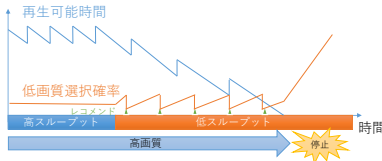
[6] Yearnsley, J., and E. M. Pothos, "Zeno's paradox in decision making." Proceedings of the Royal Society B 283.1828 (2016): 20160295.

12

誘導における課題とアプローチ

課題

- レコメンドを繰り返すと選択を変更しなくなる(量子ゼノ効果)



アプローチ

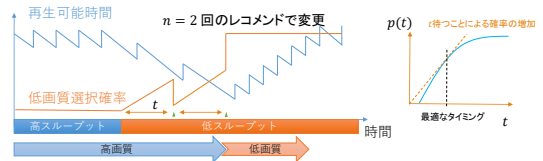
- モデルに基づき正しい選択をする確率が高くなった時点でレコメンド
- レコメンドを反復することも考慮

レコメンドのタイミング選択

適切な選択を行うまでの時間の期待値を最小化

$$\text{minimize}_t: E[t \times n] = \frac{t}{p(t)}$$

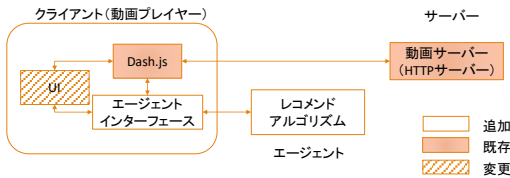
t:レコメンド間隔
n:適切な選択までの時間
p(t):適切な選択を行う確率



補正制御の実装

MPEG-DASHの参照実装 Dash.js を拡張しエージェントと通信

- 定期的及びユーザー操作時に動画再生情報をエージェントに通知
- エージェントの指示に従ってレコメンド操作



評価環境

動画

- セグメント長: 4秒
- 画質プロファイル: 200kbps~12Mbpsの10通り

ネットワーク

- ネットワークエミュレータにより帯域制限

レコメンド対象の画質

- QoE: $F(q)$ を最大化するビットレート

レコメンド時のユーザーの振る舞い

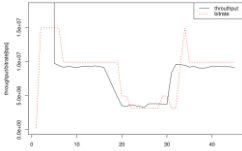
- 量子意思決定モデルに従う

スループット変化時の動作

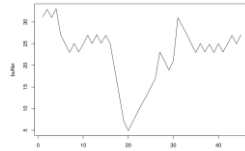
一時的にスループットの低下をエミュレート

- 時刻15にスループットを4Mbpsに制限する
- 時刻30にスループットを10Mbpsに戻す

スループット及び選択ビットレート



バッファ長



スループットの変化に追従してビットレートを変更できておりリバッファリングも回避されている

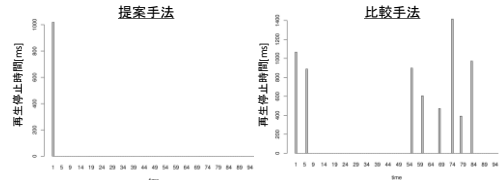
単純なレコメンド手法との比較

スループットの低下をエミュレート

- 時刻30にスループットを10Mbps→4Mbpsに制限する

比較手法

- 推奨される画質と異なる際に常にレコメンド



比較手法では頻回なレコメンドにより画質変更が起こらず再生停止が生じている

まとめと今後の課題

▶まとめ

- 量子意思決定によりユーザーのビットレート選択をモデル化
- 適切なタイミングでレコメンドを行う手法を提案

▶今後の課題

- エージェントの配置箇所(エッジ・コア)の検討
- ユーザーに応じた量子意思決定モデルのフィッティング方法の検討