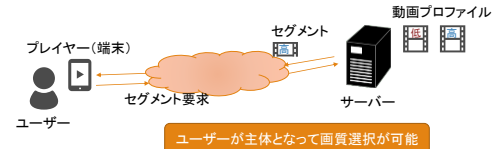


量子意思決定による ユーザーの動画視聴時の 画質選択のモデル化

大阪大学大学院情報科学研究科
大歳達也、村田正幸

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を選ばれる
 - 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に帰帰
- 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] Stanogajic, R., Erasmilov, V., & Paopagamakul, "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., Pothier, A., Egger, S., & Rindler, M. "The memory effect and its implications on Web QoE modeling," in Proceedings of FutureNet Congress (FTC), 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

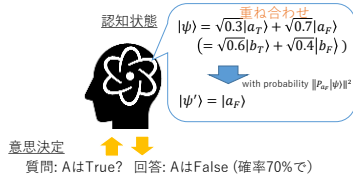
- 目的
 - 心理的な効果を含めたユーザーの認知・意思決定のモデル化
- アプローチ
 - 量子意思決定^[5],etc. によりユーザーをモデル化



^[5] J. M. Horne 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

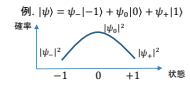


7

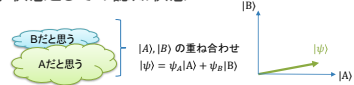
量子状態

- 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



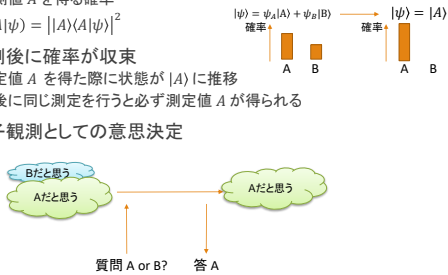
- 量子状態としての認知状態



8

量子観測

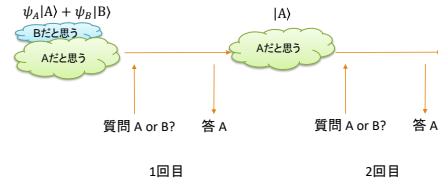
- 確率振幅に応じた確率で観測値が決定
 - 観測値 A を得る確率
 - $P(A|\psi) = |\langle A|\psi\rangle|^2$
- 観測後に確率が収束
 - 測定値 A を得た際に状態が $|A\rangle$ に推移
 - 直後に同じ測定を行うと必ず測定値 A が得られる
- 量子観測としての意思決定



9

認知的不協和と確率の収束

- 認知的不協和
 - 自分の中で矛盾した認知を抱えた状態
 - 人はこの状態を不快に感じ避けようとする
- 量子意思決定における認知的不協和
 - 直前に行った決定と同じ決定を行う



10

順序効果と非可換性

- 順序効果: 質問の順番によって応答が変わる効果
- 非可換性: 2つの量子観測の交換が等価ではない

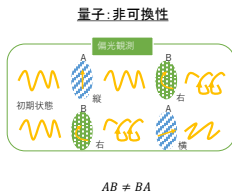
認知: 順序効果

質問

A) Bill Clinton は誠実で信頼できるか?
B) Al Gore は誠実で信頼できるか?

回答

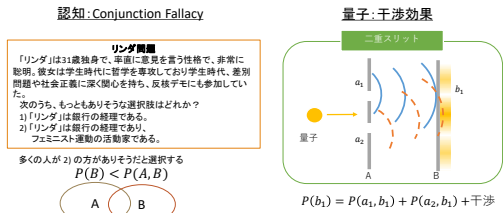
A→B の場合: Clinton(53%), Gore(76%)
B→A の場合: Clinton(59%), Gore(67%)



11

量子干渉効果

- 重ね合わせの中で干渉し確率が変化
- 古典的な確率の法則に従わない振る舞い



12

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ァイ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

- $P(a_i|\psi_t)$ の確率で画質 a_i を選択
- $|a_i\rangle$ と $|q_i\rangle$ のずれによって量子干渉が生じる

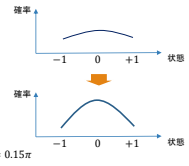


13

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
- $|\psi(t+1)\rangle = Q(x)|\psi(t)\rangle$
- $Q(x) = (Q_1 Q_2(x))^L$
- $Q_1(x) = I - (1 - e^{i\phi_1})|\pi_x\rangle\langle\pi_x|$
- $Q_2 = (1 - e^{i\phi_2})|\psi(t)\rangle\langle\psi(t)|$



➤ 状態更新のモデル化

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

$F(q_i)$: q_i を選んだ場合の体験品質
(心理的な効果を除く)

[6] J. R. Busemeyer and P. D. Bruza, Quantum models of cognition and decision. Cambridge University Press, 2012.

14

シミュレーション環境

➤ ストリーミング

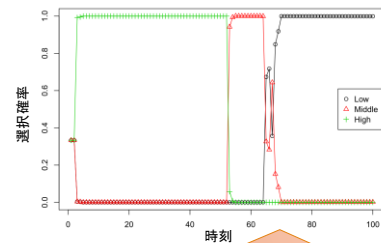
- 最大バッファ長: 30秒
- セグメント長: 4秒
- 画質:
 - High: 300 単位レート
 - Middle: 200 単位レート
 - Low: 100 単位レート

➤ シナリオ

- 時刻1~50: スループット = 300 単位レート
- 時刻51~100: スループット = 100 単位レート

15

状況に応じた選択傾向の変化



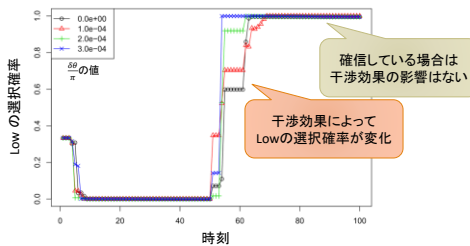
スループット低下後
Middleを選択する確率が高い状態を経て
Lowを選択する確率が高い状態に移行

16

干渉項による選択傾向の変化

➤ $|a_i\rangle$ と $|q_i\rangle$ のずれによる量子干渉効果を調べる

$$|a_i\rangle = U(\delta\theta)|q_i\rangle \quad U(\delta\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\delta\theta) & \sin(\delta\theta) & 0 \\ -\sin(\delta\theta) & \cos(\delta\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



17

まとめと今後の課題

➤ まとめ

- 量子意思決定により動画の画質選択をモデル化
- 提案モデルの振る舞いをシミュレーションにより確認
 - 量子強化学習によって状況に応じた選択が可能
 - 量子干渉によって画質の嗜好傾向を表現可能

➤ 今後の課題

- 提案モデルを用いたQoE補助制御手法
- ユーザー行動ログに合わせたモデルのフィッティング手法

18