

多視点ビデオ伝送のための CCNキャッシュ制御方式の ツリー型ネットワークにおける QoE評価

高田 祥之† 布目 敏郎†

名古屋工業大学大学院 工学研究科

工学専攻 情報工学系プログラム

謝辞：本研究はJSPS科研費JP24K14930の助成を受けたものである。

目次

- 背景
- 研究目的
- 提案方式
- 実験内容
- QoS評価
- QoE評価
- 結論・今後の課題

背景 - インターネットの用途の変化

■ホスト間でのデータの送受信

- 通信する相手をIPアドレス・ホスト名で指定



SNSの増加・発達

■情報の配信・流通システム

- 相手のIPアドレス・ホスト名は重要ではない
- ICN (Information Centric Networking) によるコンテンツ名を用いた通信が注目されている

背景 - ICN/CCN

■ ICN (Information Centric Networking)

- 情報中心のネットワーク
- ルータにコンテンツをキャッシュできる

■ CCN (Content Centric Networking)

- ICNの実装形態の1つ
- ユーザをConsumer, サーバをProducerと呼ぶ
- コンテンツは1つ以上のチャンクにより構成される
- Routerの持つコンテンツストア (CS) は
チャンク単位でコンテンツをキャッシュする

背景 - キャッシュ制御方式

■ キャッシュ判断方式

□ チャンクをキャッシュするかどうかを決定する方式

■ LCE (Leave Copy Everywhere)

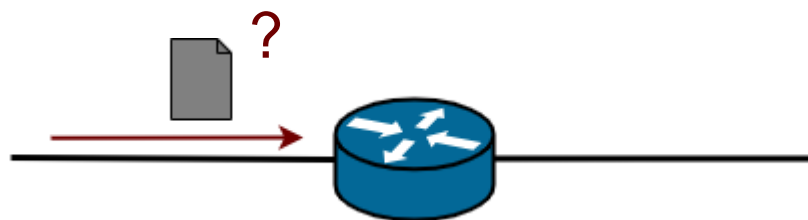
□ 常にコンテンツをキャッシュ

■ Prob (Probability)

□ ある確率に従いコンテンツをキャッシュ

■ LCD (Leave Copy Down)

□ 1ホップだけ下流のノードがコンテンツをキャッシュ

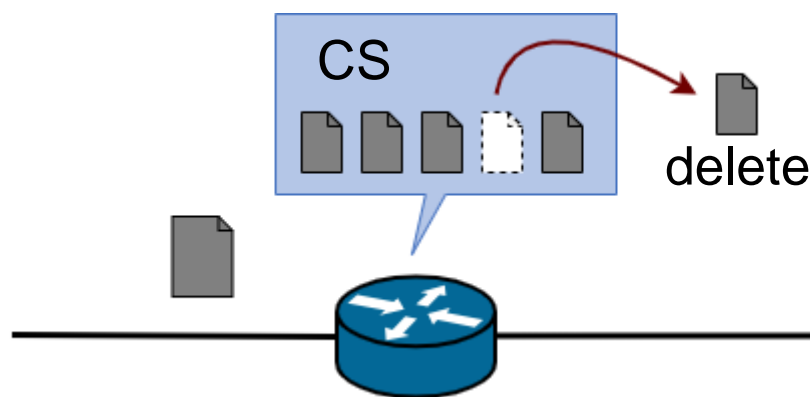


Cache or Not Cache ?

背景 - キャッシュ制御方式

■ キャッシュ置換方式

- CS一杯時, **どのコンテンツを削除するかを決定する方式**
 - FIFO: 先に入れたものから順に消去
 - LRU: 最も長い間参照されていないものから順に消去
 - LFU: 最も頻繁に参照されていないものから順に消去



Which Cache Delete?

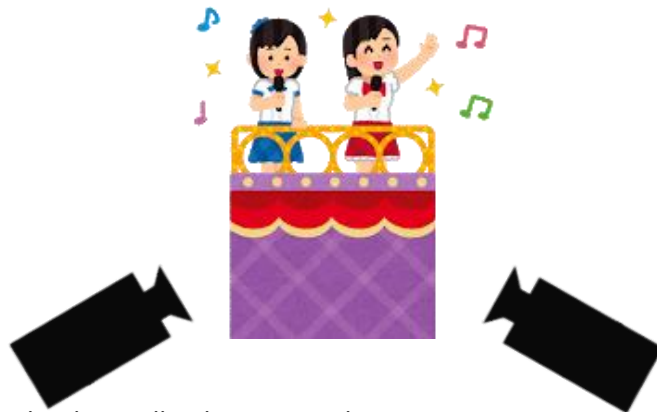
背景 - 情報技術の高度化

- ネットワークの高速化・計算機の処理性能向上
- 様々なマルチメディアサービスが検討
 - e.g. 多視点ビデオ, テレビ電話, VR, AR...



ユーザが視点選択することのできる多視点ビデオ・音声
(MVV-A: Multi View Video and Audio)

⇒ 高い臨場感を与えられる



研究目的 - 先行研究

■ 新たなキャッシュ判断方式の提案[1]

- LCDと確率的キャッシュを組み合わせたLCD with Prob
- ビデオ・音声伝送における性能向上を示している
 - ⇒ 多視点ビデオ・音声を対象としていない

■ 多視点ビデオ・音声の伝送実験[2]

- キャッシュ判断方式, CSの大きさの違いによる性能評価
 - ⇒ 多視点ビデオ・音声であることを考慮したキャッシュ制御方式を行っていない

[1] 小林 圭佑, 布目 敏郎,

“ICN/CCNIにおける複数ビデオ・音声ストリーム存在下でのQoE向上のためのキャッシュ判断方式の一検討”,
電子情報通信学会技術研究報告, CQ2022-85, Mar. 2023.

[2] 高田 祥之, 布目 敏郎,

“ICN/CCNキャッシュ判断方式が多視点ビデオ・音声伝送品質に及ぼす影響”,
電子情報通信学会技術研究報告, CQ2023-7, May 2023.

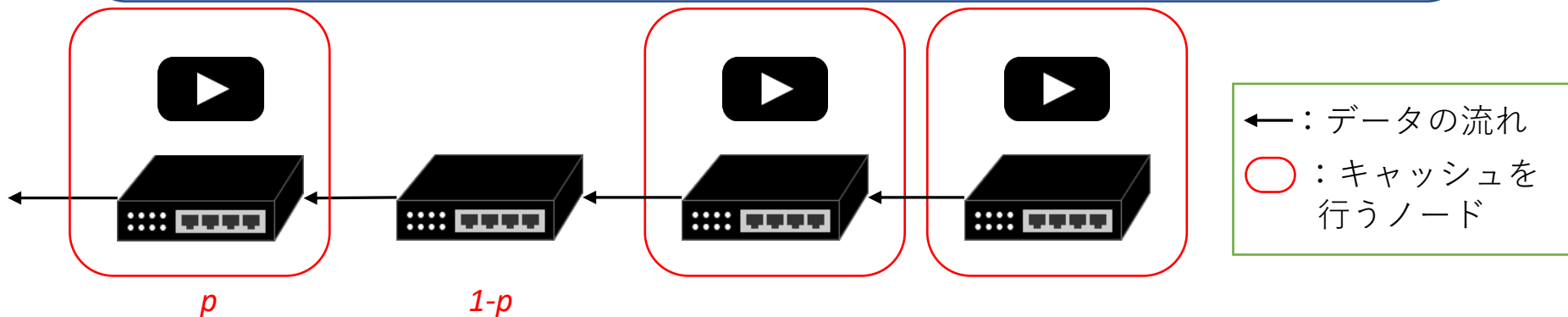
キャッシュ判断方式 – LCD with Prob

Consumerに近いノードを
活用しやすくなる

キャッシュの冗長度の抑制

LCD with Prob

コンテンツを返送したノードと、そのノードから
1ホップだけConsumerに近いノードでキャッシュを行う。
その他のノードでは、一定の確率 p に従いキャッシュを行う。



研究目的 - 本研究

- CCNの「多視点ビデオ・音声伝送」に適した新たなキャッシュ制御方式の提案[3]
 - スター型ネットワークを用いたQoE評価
 - 他のネットワーク構成での評価を行っていない

【本発表】

- ツリー型ネットワークを対象としたQoE評価

[3] 高田 祥之, 布目 敏郎,
“ICN/CCNにおける多視点ビデオ・音声伝送QoE向上のためのキャッシュ制御方式の一検討”,
電子情報通信学会技術研究報告, CQ2023-49, Nov. 2023.

提案方式 - 既存方式の問題点

■ キャッシュ置換方式LRUに着目する

- LRU: 最も長い間参照されていないものから順に消去
- キャッシュしているチャンクのアクセス情報を管理する

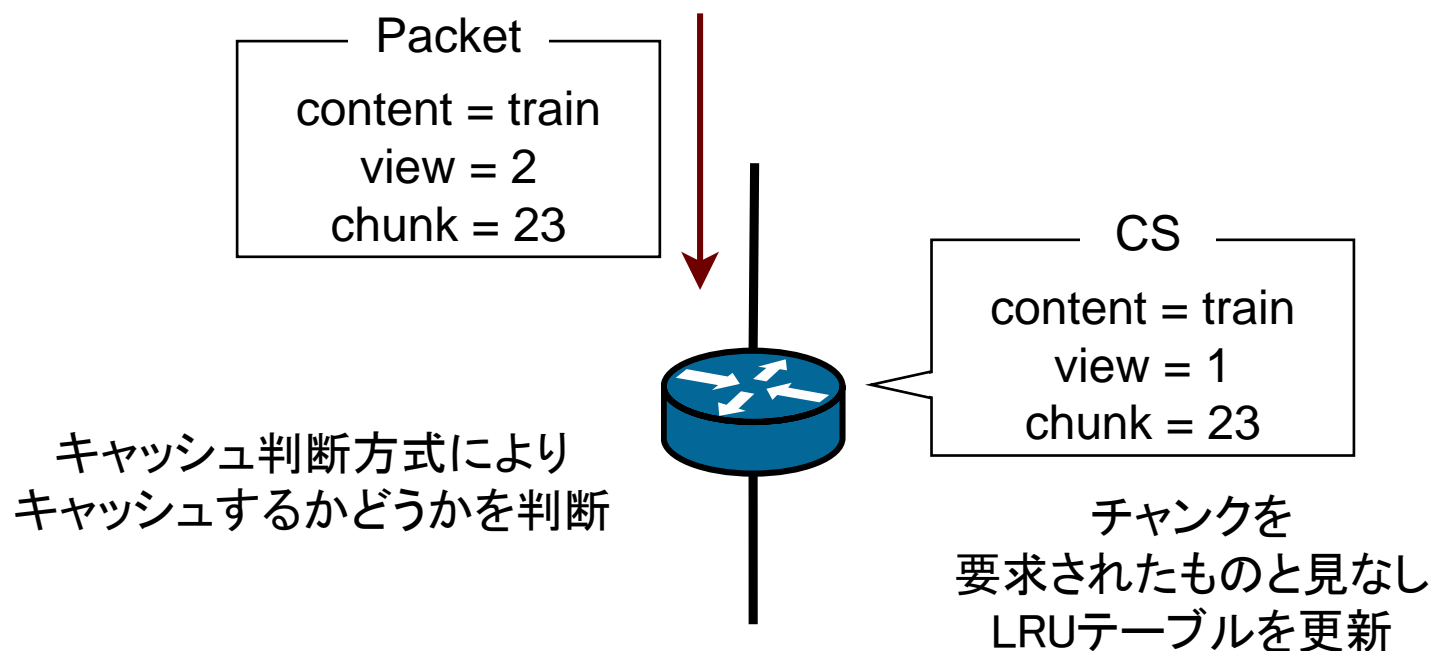
■ 視点ごとに異なる識別子をつける

- 同じコンテンツを構成するチャンクでも
視点ごとに全く関係のないコンテンツとして扱われる
- 異なる視点を要求される時キャッシュしているチャンクの
アクセス情報が更新されない

提案方式 - 提案方式の動作

■ チャンク受信時にLRUテーブルを更新する

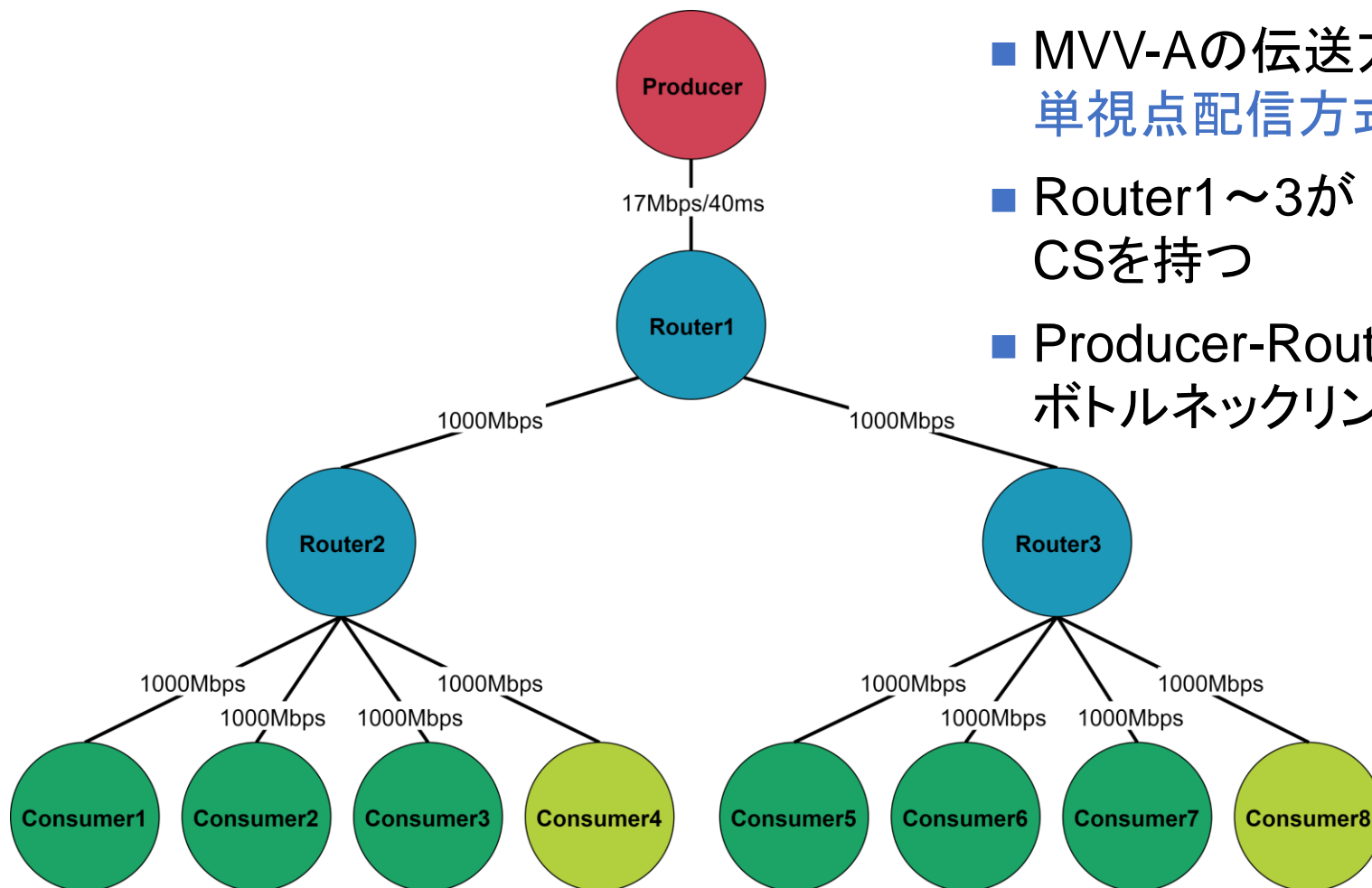
CSにあるチャンクと異なる視点の同じチャンク番号のチャンクを受け取った時, CSのチャンクのアクセス情報を更新する



「inUpdate」と表記する

実験内容 - 実験ネットワーク

Pro : Producer
Rtr : Router
Con: Consumer

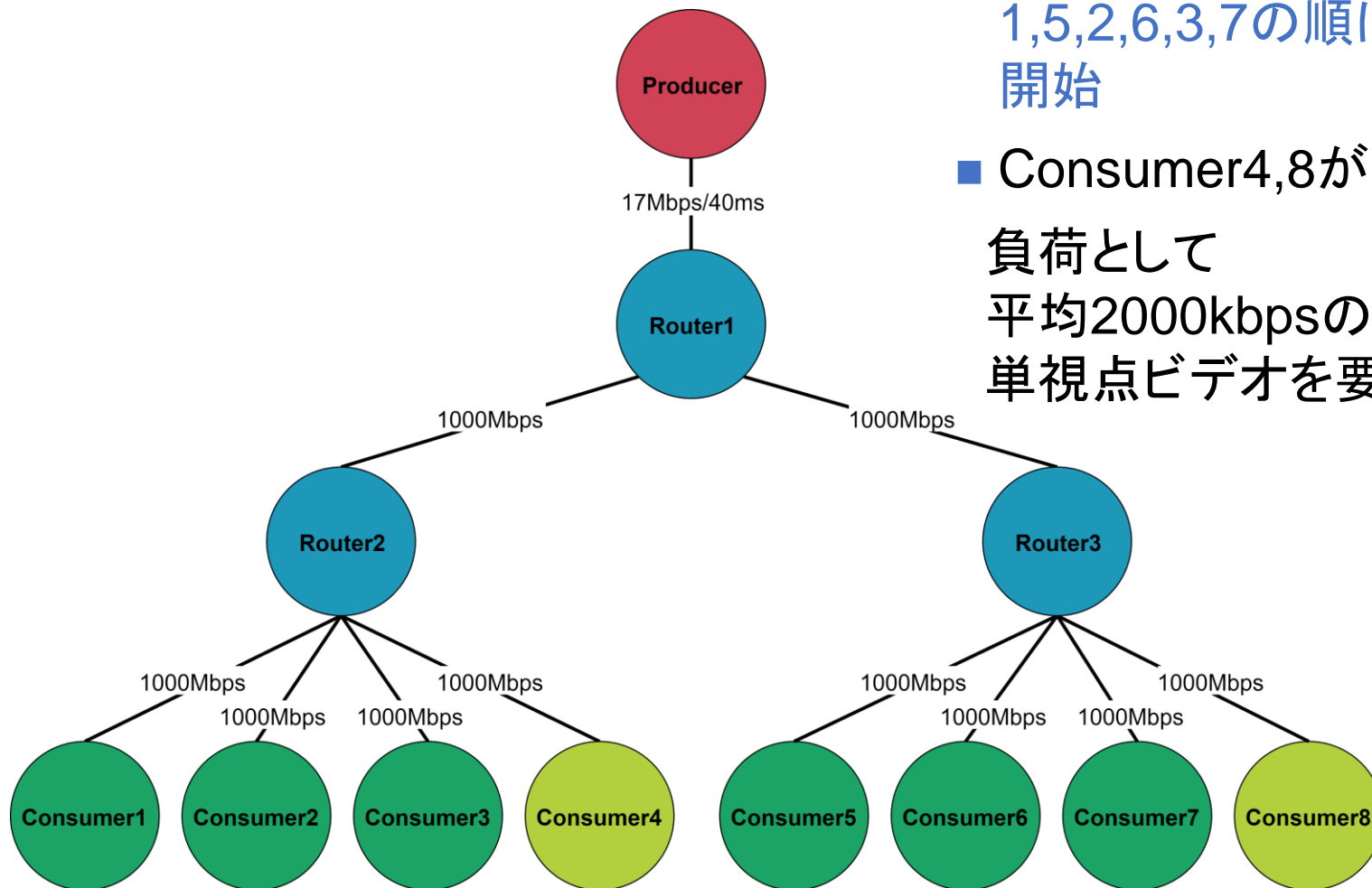


- 実験環境は Ceforeにより構築
- 通信はUDP/IPで行う
- MVV-Aの伝送方式は単視点配信方式
- Router1~3がCSを持つ
- Producer-Router1間がボトルネックリンク

実験内容 - 実験ネットワーク

Pro : Producer
Rtr : Router
Con: Consumer

- Consumer1~3, 5~7が
多視点ビデオを
3秒差をつけて
1,5,2,6,3,7の順に要求
開始
- Consumer4,8が
負荷として
平均2000kbpsの
単視点ビデオを要求



実験内容 - 多視点ビデオの仕様

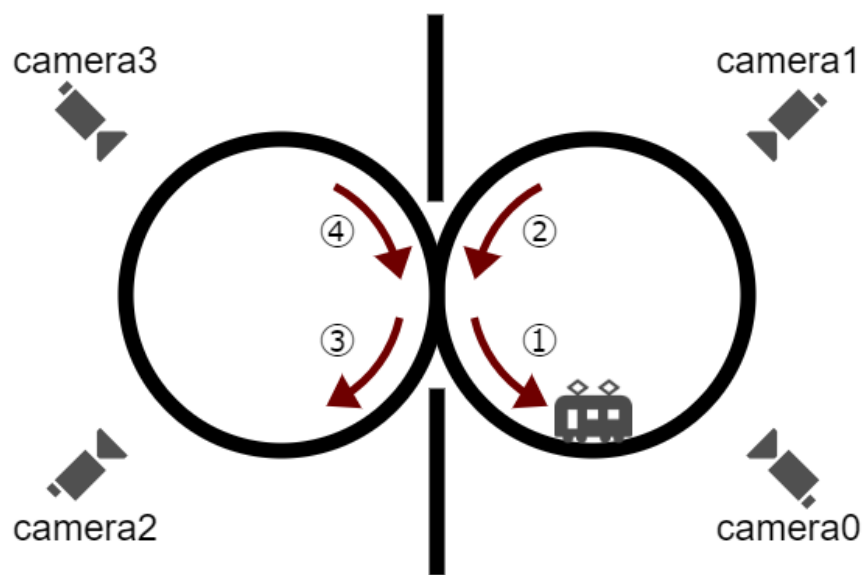
| | ビデオ | 音声 |
|----------------|------------------|------------------|
| 符号化方式 | H.264 (JM19.0) | MPEG-4 AAC-LC |
| ピクチャパターン | IPPPP | - |
| 画像サイズ[pixels] | 640 × 480 | - |
| スライス分割数 | 10 | - |
| 平均MUサイズ[bytes] | I: 32950 P: 2258 | 303 |
| MUレート[MU/s] | 30.0 | 46.875 |
| 平均ビットレート[kbps] | 2000 | 125 |

- 誤り補償: フレームコピー方式
- 単視点ビデオは平均2000kbpsのものを使用

実験内容 - コンテンツの内容

- 電車のおもちゃが8の字のレール上を動いているもの

□ camera0からcamera3まで自由に視点変更可能



コンテンツの概略図

実験内容 - キャッシュ利用の影響

- Consumerが同じ視点を要求する場合
 - キャッシュが利用される可能性がある
- Consumerが異なる視点を要求する場合
 - キャッシュが利用されない

キャッシュが利用される場合
ネットワークの混雑が改善される



ユーザの視点変更を模擬する方法により
アプリケーションレベルQoSが変動する

実験内容 - 視点要求方式

■方式a

- 要求視点が分散する場合を想定
- 4視点をランダムに視点変更する

■方式b

- 人気の視点が存在する場合を想定
 - 人気の視点: 電車が大きく映る視点
- 人気の視点を50%の確率で要求
 - それ以外は他の3視点からランダムに視点変更する

- どちらの方式でも視点変更間隔は3.2秒

実験内容 - 実験条件

| | |
|---------------|--|
| 視点要求方式 | 方式a: 4視点からランダムに視点変更 方式b: 人気の視点を50%で要求 |
| キャッシュ判断方式 | LCE, Prob66, Prob33, LCD, LCDwithProb |
| キャッシュ置換方式 | LRU, LRUinUpdate(提案方式) |
| ストアサイズ[chunk] | 10000, 20000 |

■ キャッシュ判断方式

- Prob66: 66%の確率的キャッシュ

- Prob33: 33%の確率的キャッシュ

■ メディア内同期制御としてプレイヤーアウトバッファリングを行う

- プレイアウトバッファリング時間: 300ms

QoS評価 - 評価項目

■ビデオMU欠落率

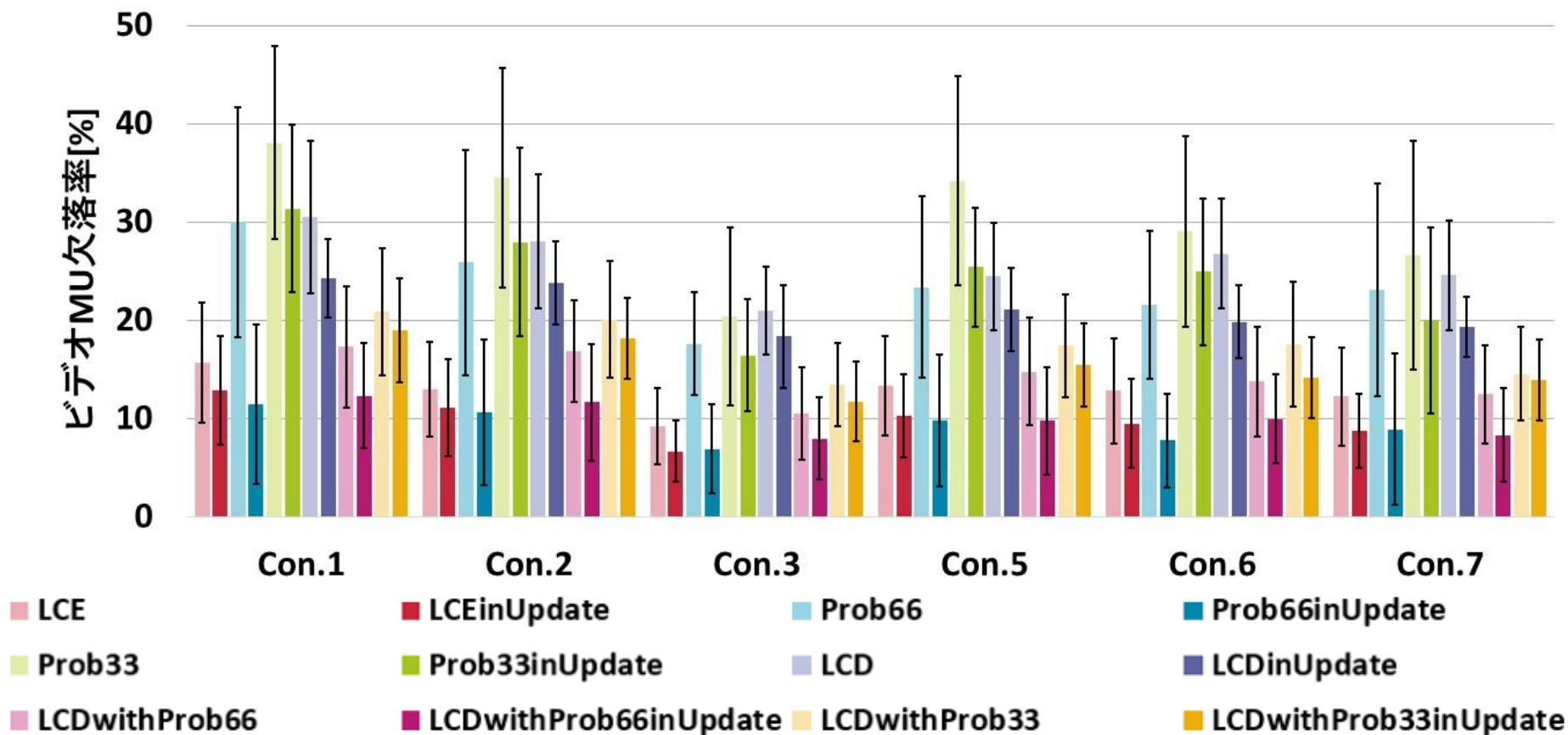
- 出力されなかったMUの割合

■平均ホップ数

- Consumerに届いたデータパケットの経路ホップ数の平均
- $$\frac{\sum \text{受信データパケットのホップ数}}{\text{受信データパケット数}}$$

CS 10000・方式aのビデオMU欠落率

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求

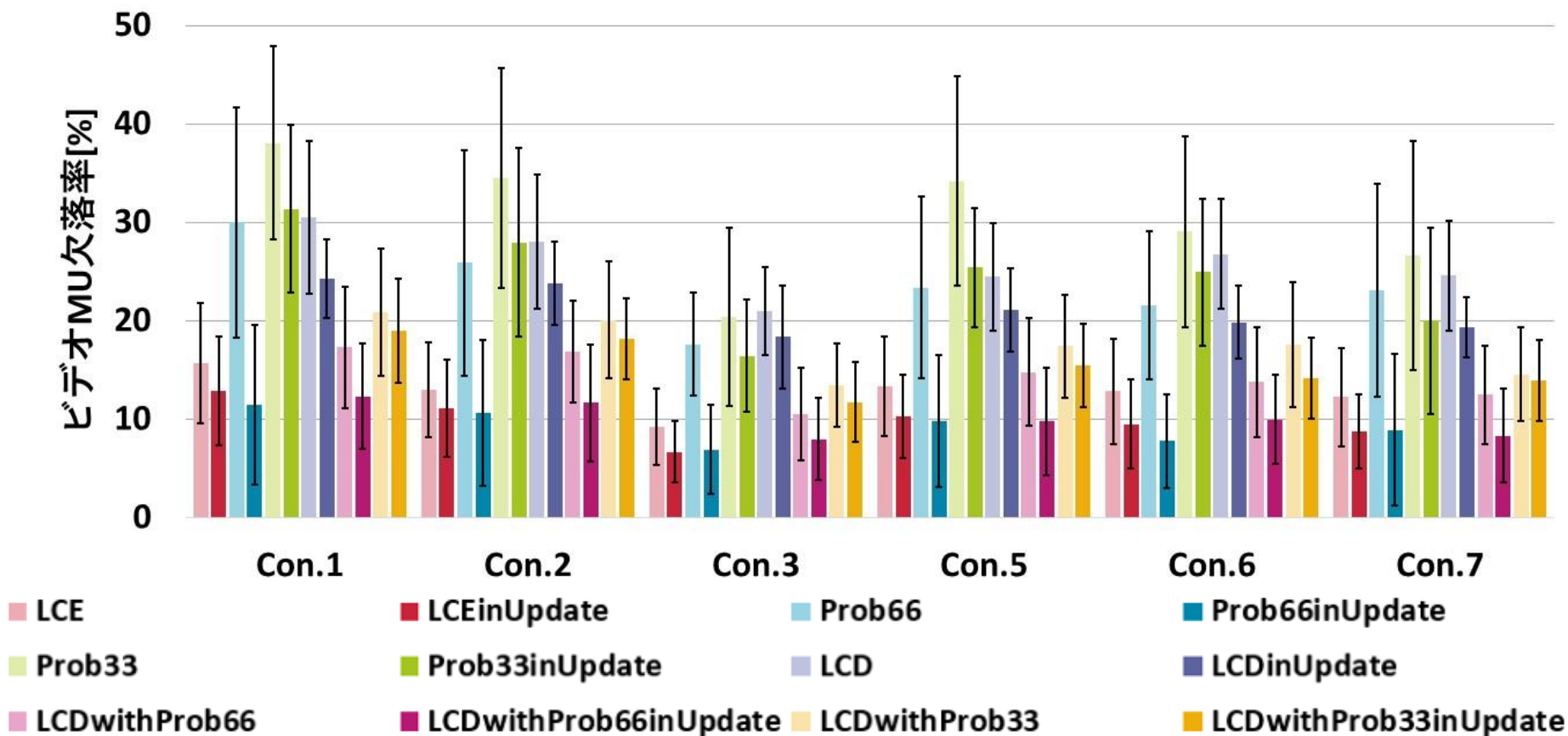


キャッシュ判断方式によらずinUpdateの動作でビデオMU欠落率が減少

⇒ キャッシュテーブルのアクセス情報の更新で
キャッシュにより応答できる機会が増加するため

CS 10000・方式aのビデオMU欠落率

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



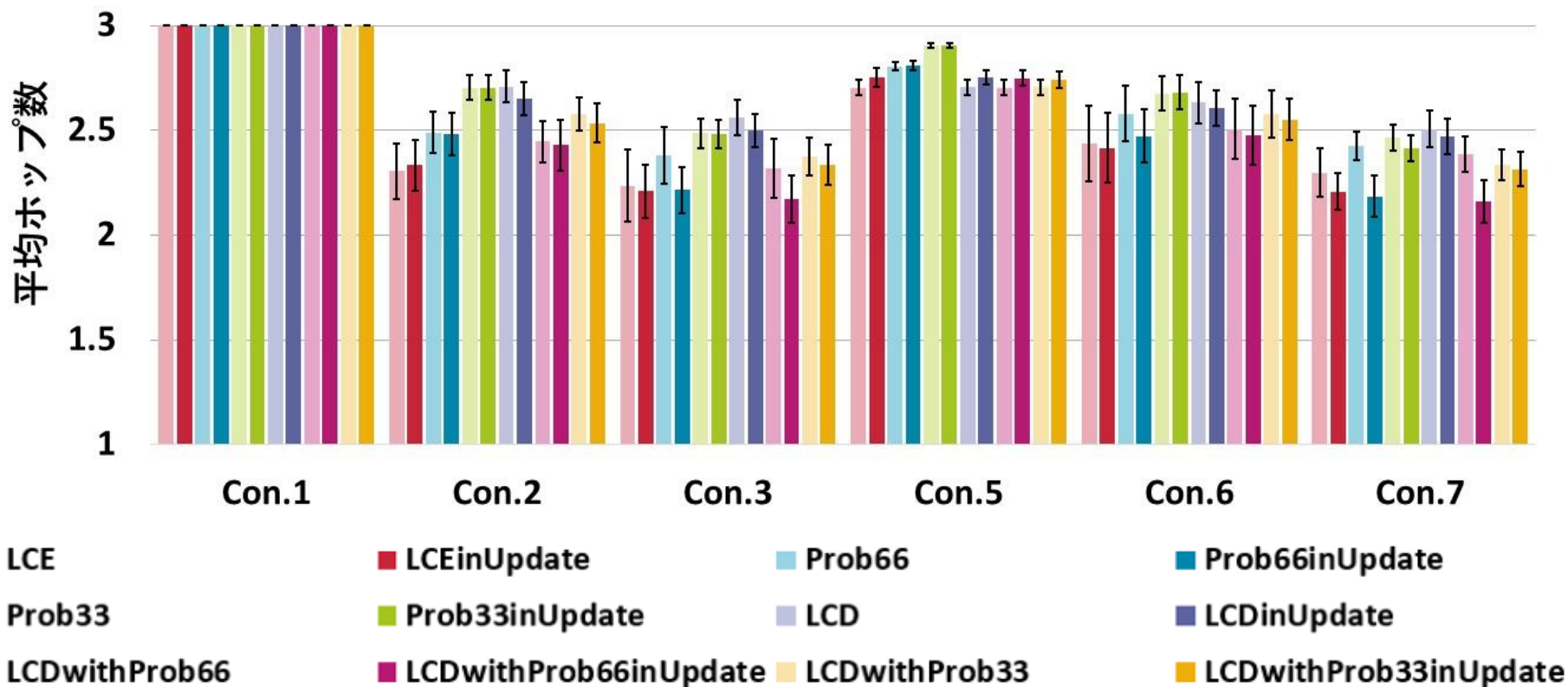
LCDwithProbはLCDや確率的キャッシュ(Prob)よりもビデオMU欠落率が減少

⇒ キャッシュを持つノードが増えることにより

キャッシュにより応答できる機会が増加するため

CS 10000・方式aのキャッシュ利用率

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



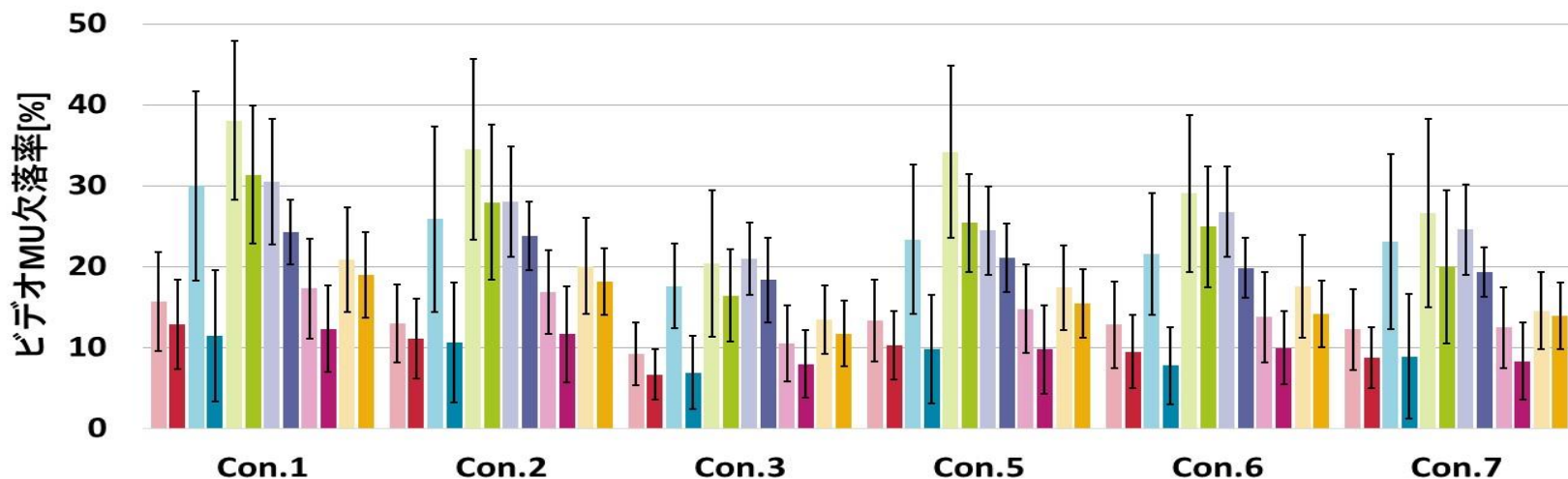
inUpdateの動作により平均ホップ数が減少

⇒ キャッシュテーブルのアクセス情報の更新で
キャッシュにより応答できる機会が増加するため

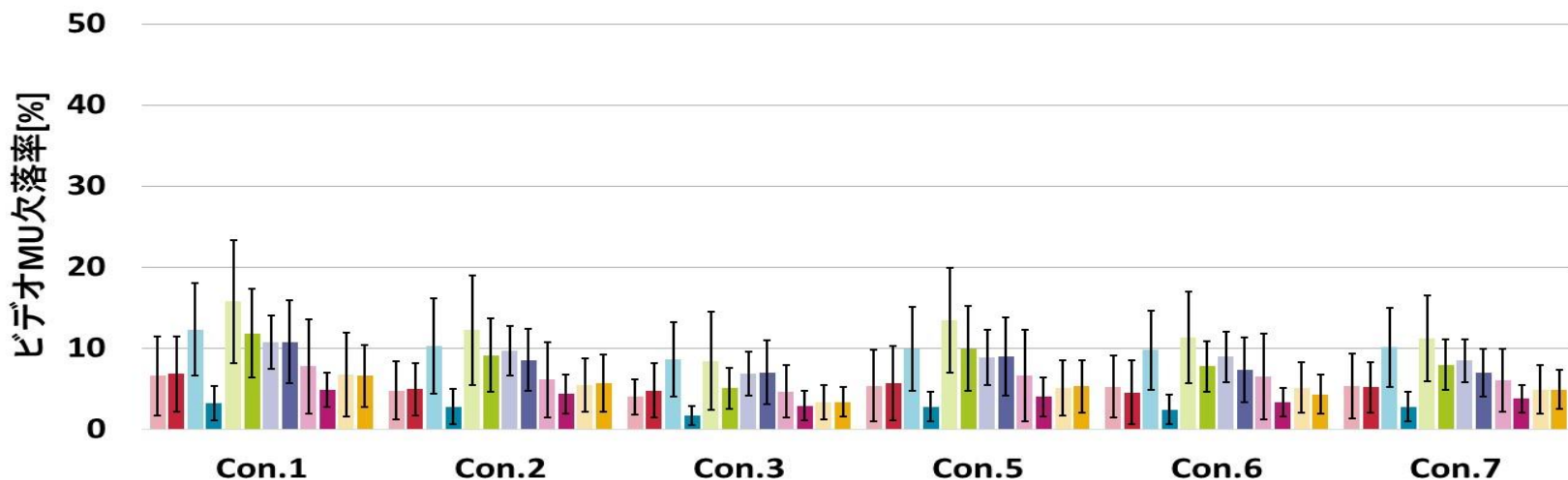
CS 10000・ビデオMU欠落率の比較

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求

方式a



方式b

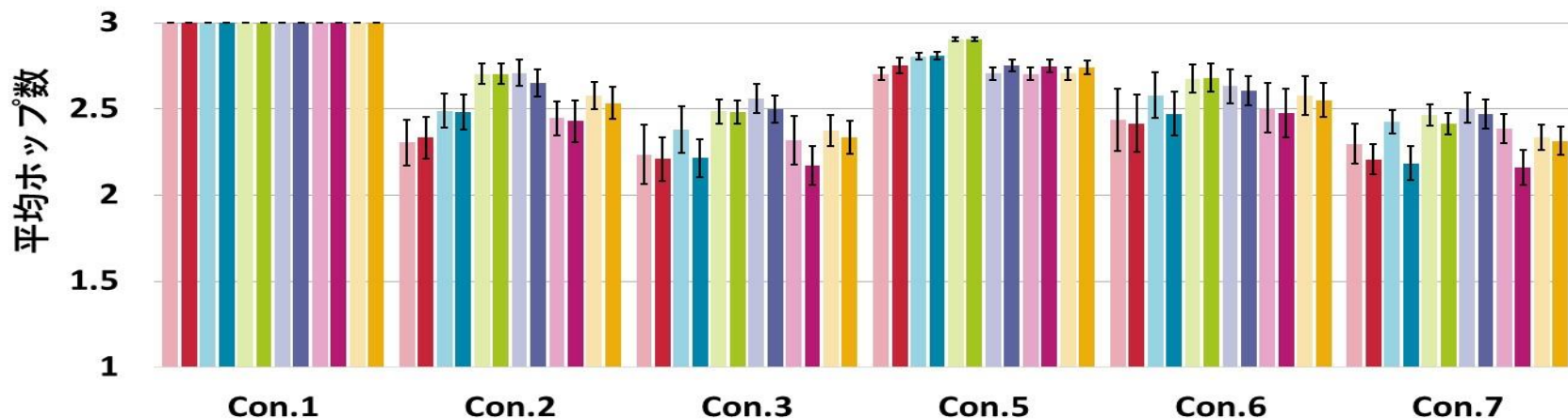


方式bの方がビデオMU欠落率は小さい

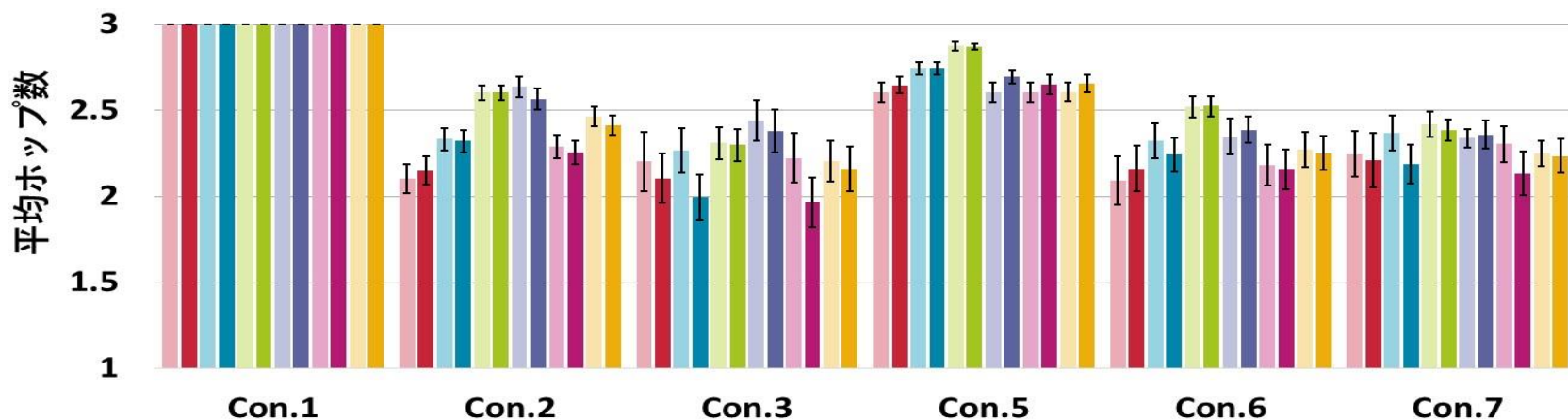
CS 10000・平均ホップ数の比較

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求

方式a



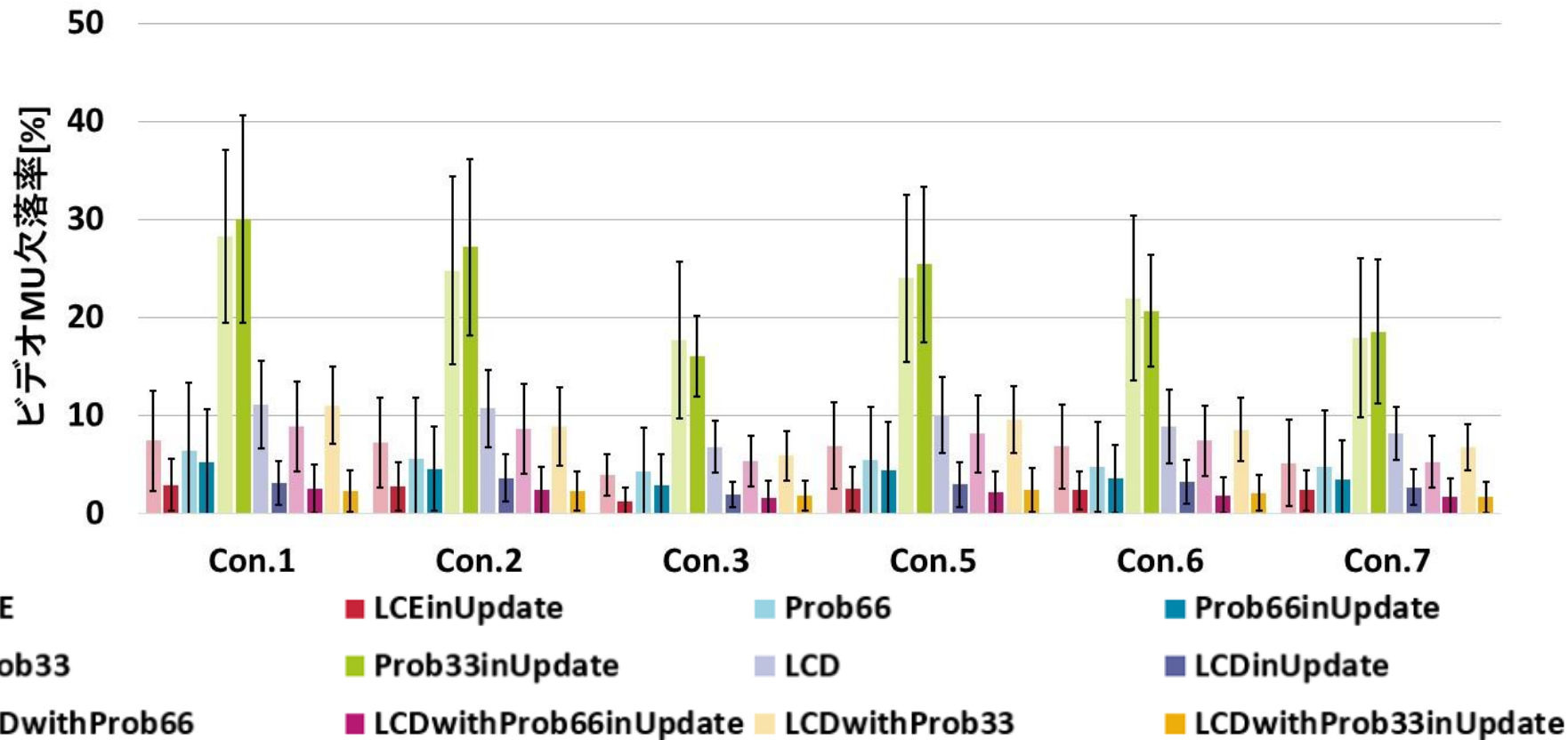
方式b



方式bの方が全体的に平均ホップ数が少ない

CS 20000・方式aのビデオMU欠落率

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



CS10000チャックと同様の傾向

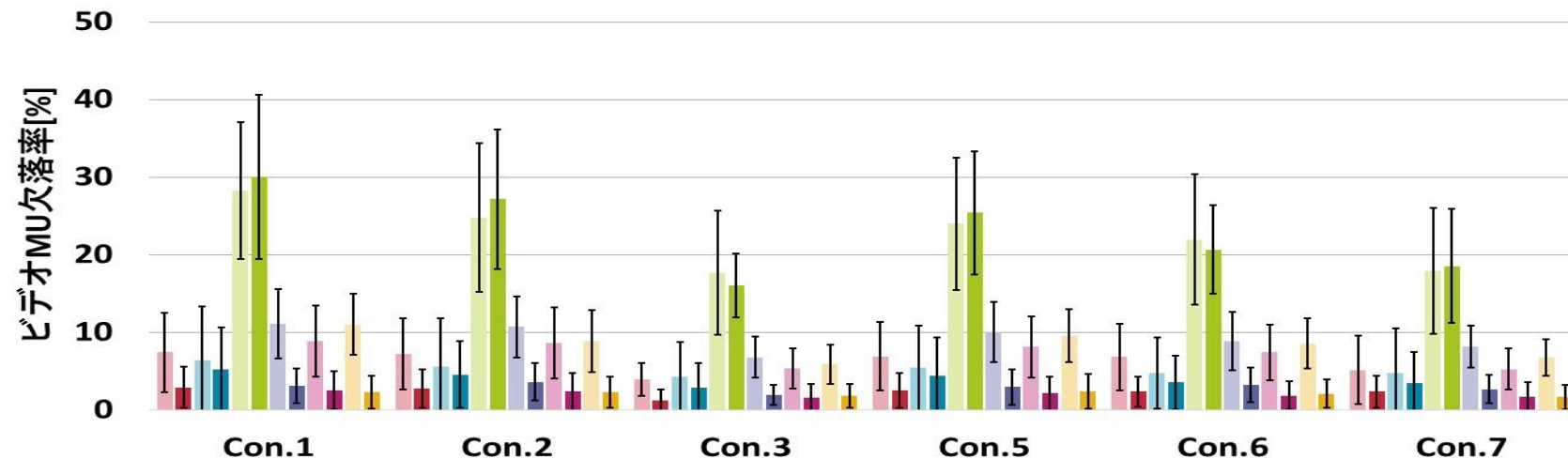
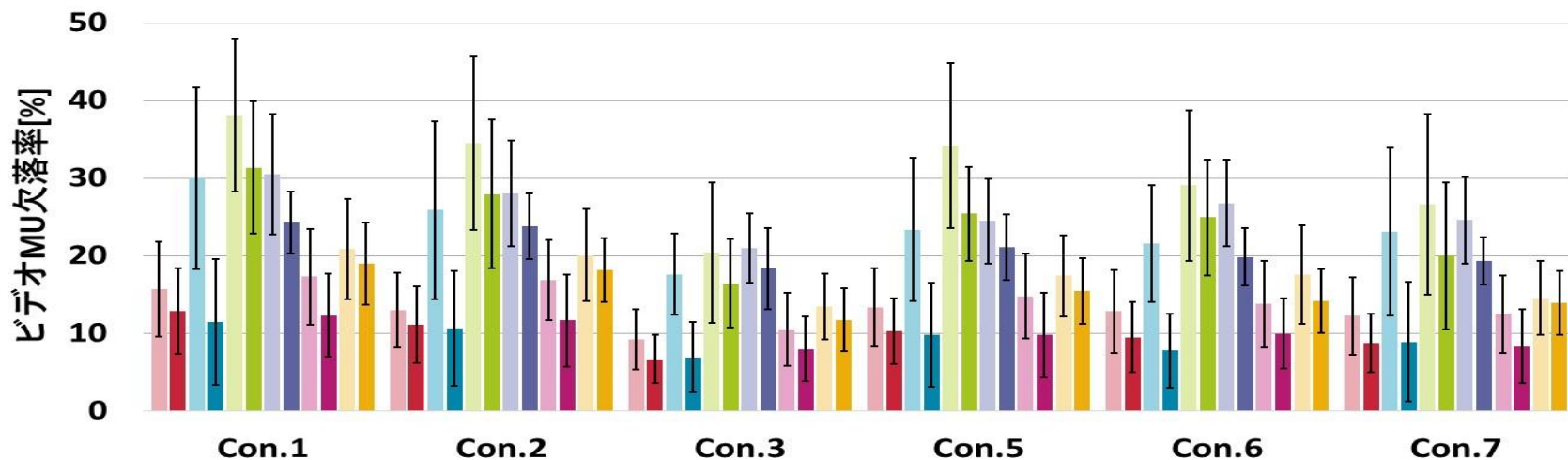
- inUpdateによりビデオMU欠落率が減少
- Consumer1でもビデオMU欠落率が減少

方式a・ビデオMU欠落率の比較

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求

■ Prob33

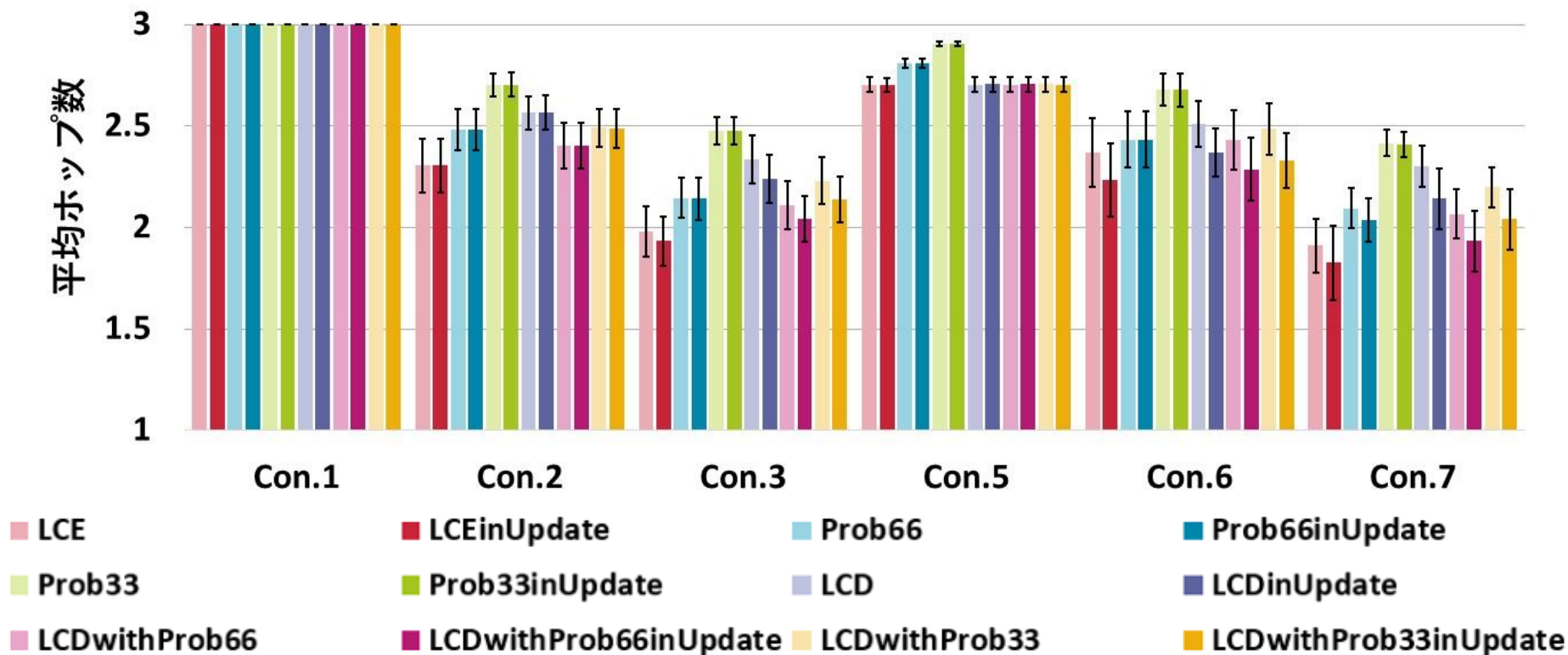
■ Prob33inUpdate



CS20000だとProb33のビデオMU欠落率が他の方式よりも大きい

CS 20000・方式aの平均ホップ数

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求

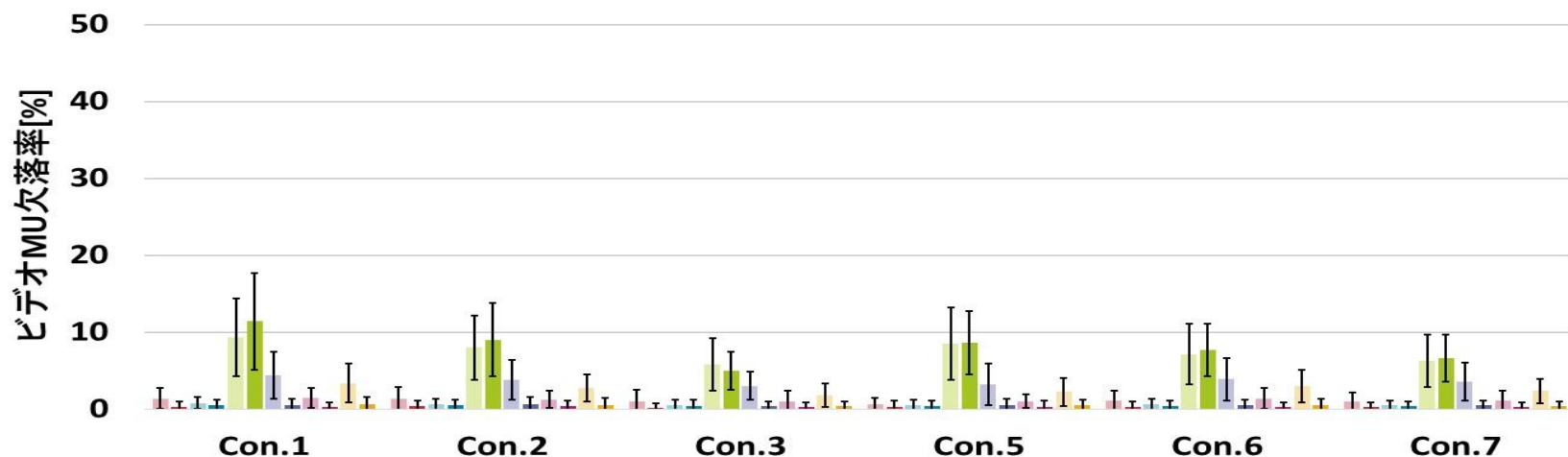
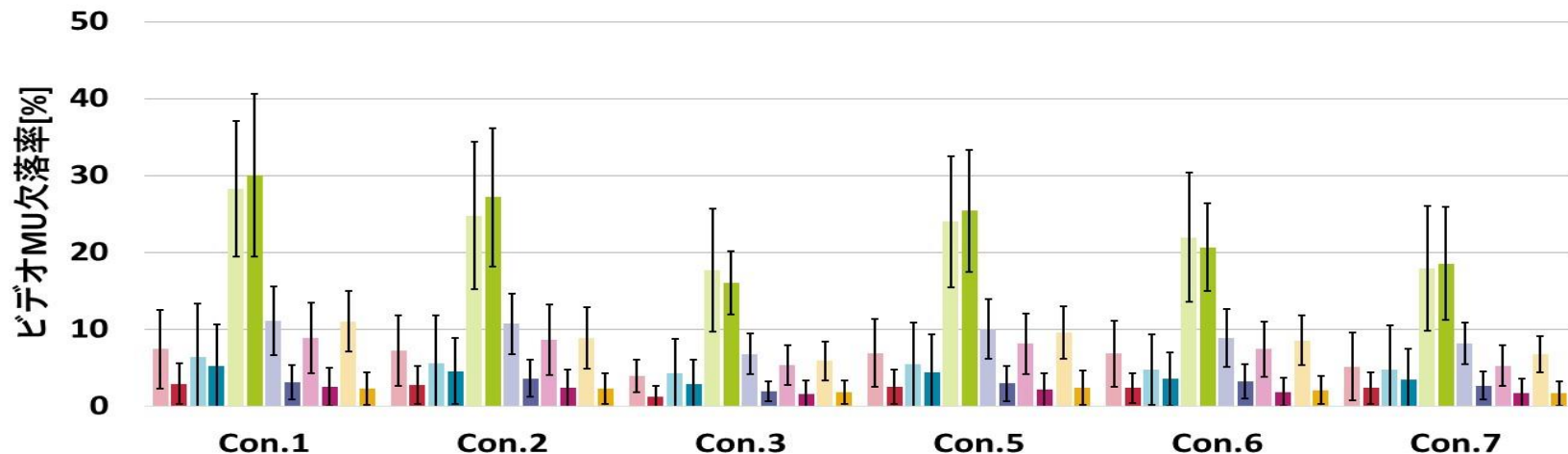


Prob33とProb33inUpdateの差がほとんどない

- inUpdateの影響が小さくなっている
- inUpdateによる悪影響もない

CS 20000・ビデオMU欠落率の比較

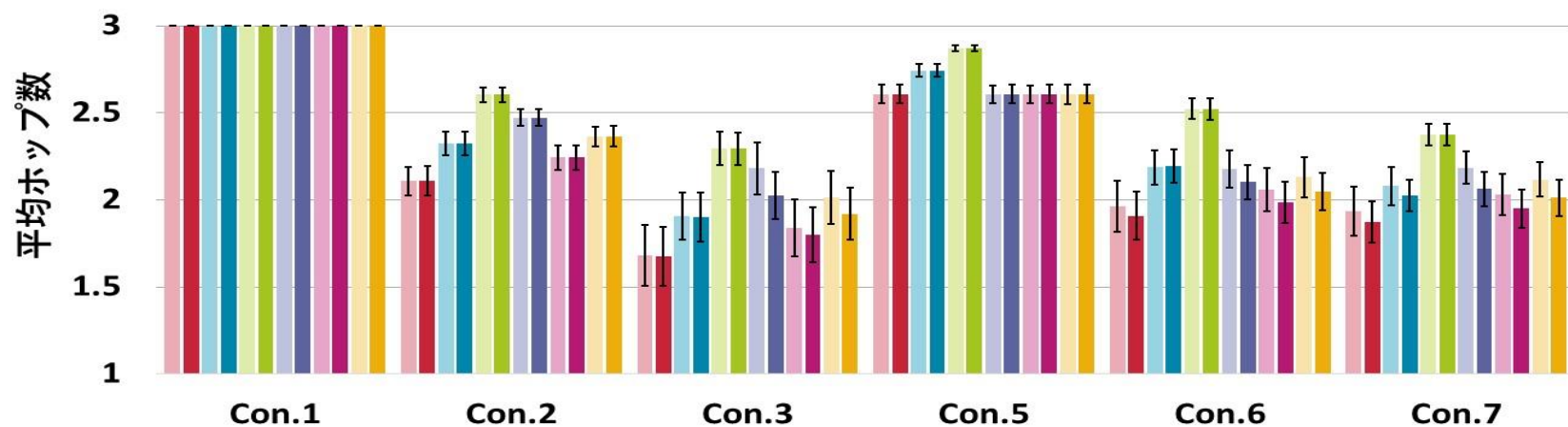
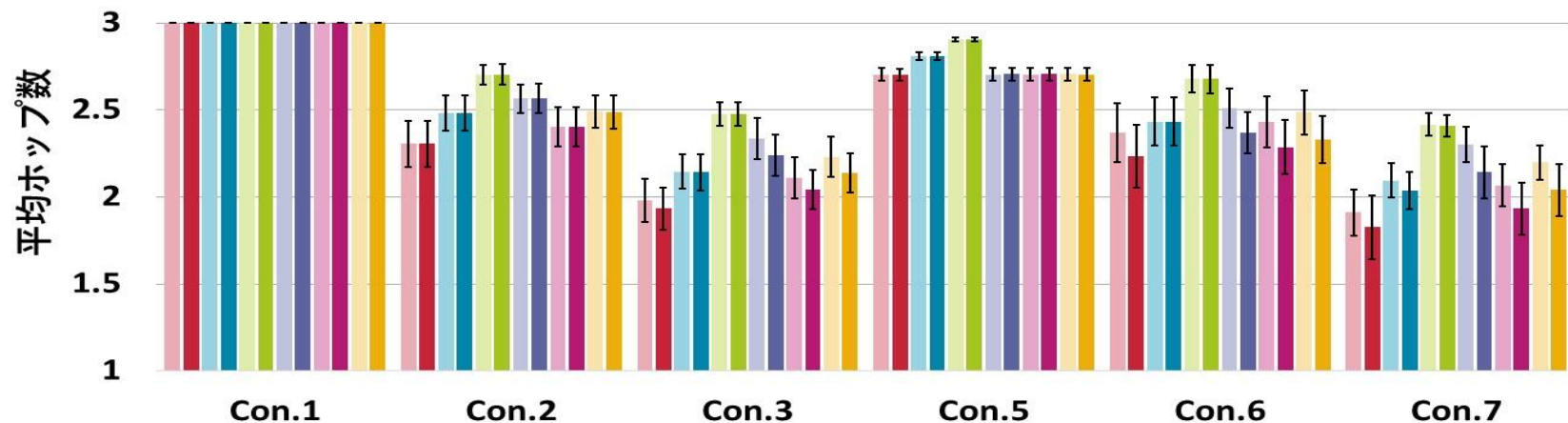
方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



CS20000チャンクの方式bは方式aと同様の傾向

CS 20000・平均ホップ数の比較

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



CS20000・方式aと同様の傾向

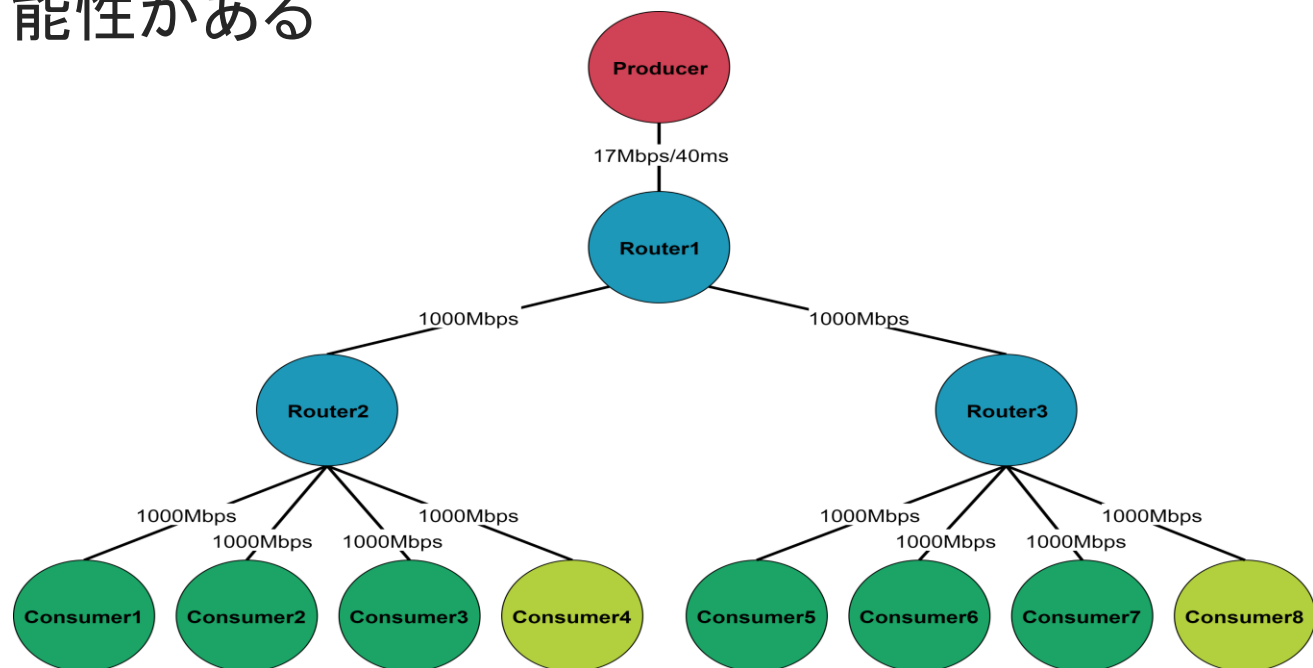
QoE評価 - 実験条件

- ストアサイズは10000チャンクのみ

- 評価するConsumerは1つ

□ Consumer7

- 最後に多視点ビデオを要求するConsumer
- 前のConsumerの要求によるキャッシュが利用される可能性がある



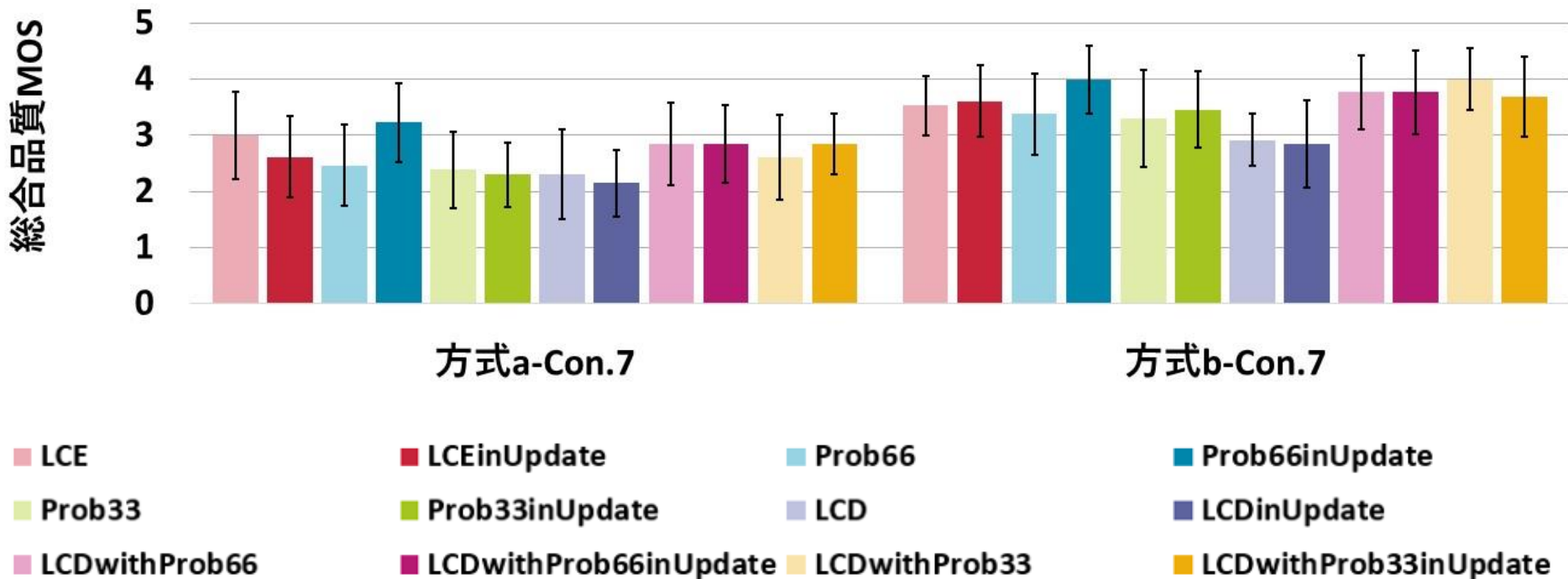
QoE評価 - 実験方法

- Consumerの1台を被験者が操作
 - 被験者が操作するConsumer以外はQoS評価と同様に自動で視点変更を行う
- 評価にはMOS (Mean Opinion Score)を使用
 - 評価項目は総合品質
- 被験者は20代の男性13名

| 評価値 | 品質尺度 |
|-----|-------|
| 5 | 非常に良い |
| 4 | 良い |
| 3 | 普通 |
| 2 | 悪い |
| 1 | 非常に悪い |

CS 10000・総合品質MOS

方式a: ランダムに視点変更 方式b: 人気視点を50%で要求



Prob66inUpdateのMOSが高い

⇒被験者の要求に対してキャッシュが利用されるため

LCDwithProbではLCDよりMOS高いがinUpdateの効果は大きくない

結論

■ストアサイズが10000チャンクの場合

- 提案方式inUpdateによりQoSが向上

■ストアサイズ20000チャンクの場合

- キャッシュ頻度が小さいとキャッシュ利用効率が低下し、他のキャッシュ判断方式と比較してQoSが低下

- キャッシュ頻度が大きいキャッシュ判断方式では、提案方式inUpdateによりQoSが向上

■QoE

- 提案方式inUpdateの影響は大きくはないものの、キャッシュが利用される可能性が高い条件でQoEが向上

今後の課題

- 大規模なネットワーク環境での評価
- さらにQoE向上につながる方式の検討