

ネットワークの消費電力削減のためのルータにおける動画コンテンツのキャッシングの評価

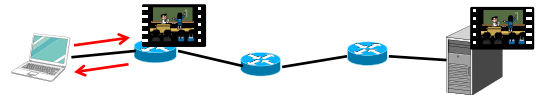
○多田 知正 (京都教育大学)
村田 正幸, 松岡 茂登, 長谷川 剛 (大阪大学)
山下 暢彦 (NTT)

2016/2/24

1

研究の背景

- ネットワーク消費電力の増大
 - Youtubeなど動画コンテンツによるトラフィックの増大
- CCN (Contents Centric Network)
 - ネットワーク上のルータがストレージを持ち, データをキャッシュする
 - トラフィックが減少→ネットワークの消費電力の削減につながる

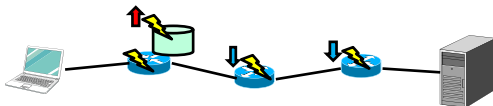


2016/2/24

2

研究の目的

- ルータのストレージ容量と全体の消費電力の関係を調べる
 - 消費電力をトータルで最も削減できるストレージ容量を明らかにする
- 以下のトレードオフを考慮
 - ルータから直接データを転送することによるネットワークの消費電力の削減
 - ルータのストレージによる消費電力の増大



2016/2/24

3

本発表の内容

- 計算による評価[多田2013]
 - 消費電力モデルを作成
 - 最適なストレージ容量を計算により決定
 - コンテンツの置き換えは考えない
 - 各コンテンツのアクセス頻度が既知であると仮定
 - コンテンツのサイズが均一
- より現実的な条件で評価
 - コンテンツの置き換えをシミュレーション
 - 実際のアクセス履歴に基づくワークロード
 - 各コンテンツのサイズが異なる
 - アクセス履歴から求めた分布に従う
 - 動画コンテンツの特性を考慮
 - ユーザによる視聴の中断

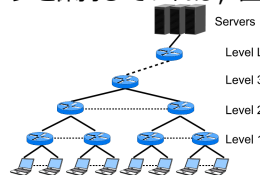
[多田2013]
多田知正, 村田正幸, 長谷川剛, 馬場崎忠利, 中村二郎, 松岡茂登, 松田和浩.
"ルータにおけるキャッシングがネットワークの消費電力に与える影響の評価".
電子情報通信学会論文誌 B.96(11):1260-1271, 2013.

2016/2/24

4

ネットワークモデル

- 木構造のネットワーク
- クライアントはサーバにリクエストを送信
 - サーバがリクエストに応じコンテンツを送信
- 各ルータはストレージを持つ
 - コンテンツを保持できる
- 途中のルータがコンテンツを保持していれば, 直接クライアントに送信



2016/2/24

5

ルータにおけるコンテンツの扱い

- ストレージが満杯になるとコンテンツの置き換えを行う
 - 置き換え手法はLRU(Least Recently Used)
- 置き換えはコンテンツ単位
 - 置き換える際にはコンテンツをまるごと追い出す
- ルータはコンテンツの一部を保持することがある
 - ユーザが途中で視聴を中断した場合
- コンテンツは固定サイズのブロックからなり, ブロック単位でストレージに格納される
 - 1ブロックのサイズは100KBとする
 - Youtubeで360pの動画の約1秒に相当



2016/2/24

6

消費電力モデル

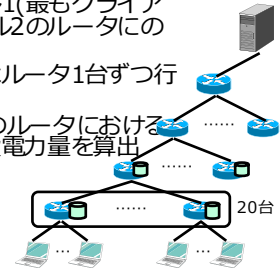
- 本研究ではルータのストレージ容量による総消費電力の変化に注目する
 - 総消費電力 = ネットワークの消費電力 + ストレージの消費電力
- リンクの消費電力は考えない
 - ネットワークの消費電力 = 全ルータの消費電力の合計
- ルータの消費電力は負荷（トラフィック量）に比例する
- ストレージの消費電力は容量に比例する

2016/2/24

7

シミュレーションの概要

- ネットワークは高さ4の対称な木構造とする
- ストレージはレベル1(最もクライアントに近い)とレベル2のルータにのみ設置する
- シミュレーションはルータ1台ずつ行う
- レベル1とレベル2のルータにおけるヒット率を元に消費電力量を算出



2016/2/24

8

ワークロードの作成

- レベル1ルータに与えるリクエスト列
 - 実際のアクセス履歴にもとづいて生成
 - アクセス履歴の収集
 - リクエスト列の作成
- レベル2ルータに与えるリクエスト列
 - レベル1ルータのシミュレーション結果を合成して生成

2016/2/24

9

アクセス履歴の収集

- 大阪大学のゲートウェイにおいてHTTPのアクセスログを収集
 - 2014/4/6~2014/4/12(1週間)
- アクセス先URLが
 - www.youtube.com/watch?v=xxxx を含むものを選び, xxxxの部分(動画ID)を抽出した

```
02krs1G5jk
run9DV6xNY
IqA2xo0HYrE
LlVUepMa31o
gpBilYcChf0
vPLrXfw76Qg
...
```

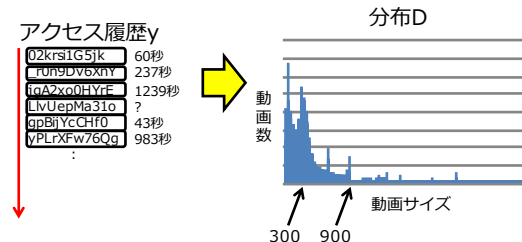
1週間分のアクセス履歴

2016/2/24

10

動画サイズ分布

アクセス履歴yに含まれる動画の長さを調べる
1秒 = 1ブロックとして動画サイズの分布Dを求める
(長さが不明なものは除く)



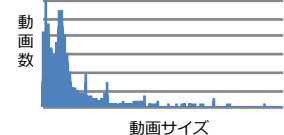
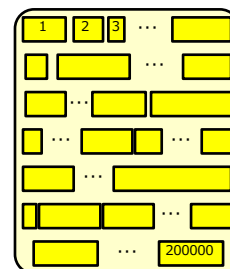
2016/2/24

11

リクエスト列の生成

コンテンツの集合Cを作成

コンテンツのサイズは分布Dに従う乱数で決定

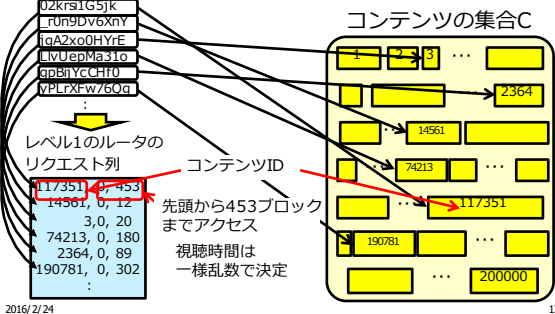


2016/2/24

12

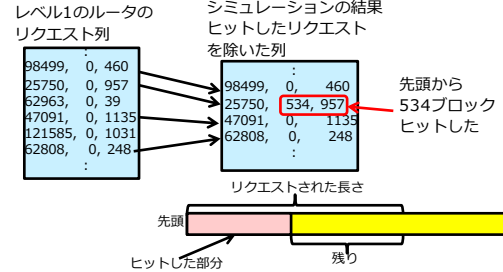
リクエスト列の生成

アクセス履歴の各動画IDを集合Cの要素に対応付ける



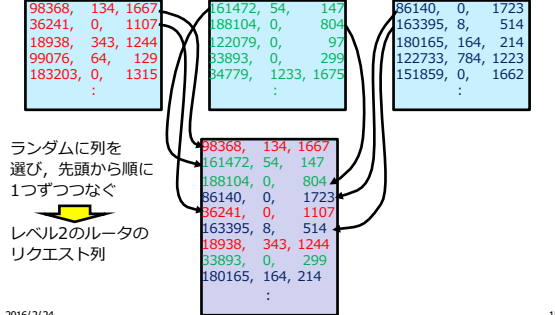
レベル1のシミュレーション結果

20個のリクエスト列を生成し
20台のレベル1ルータのシミュレーションを行う



リクエスト列の合成

レベル1のシミュレーションの結果得られた列



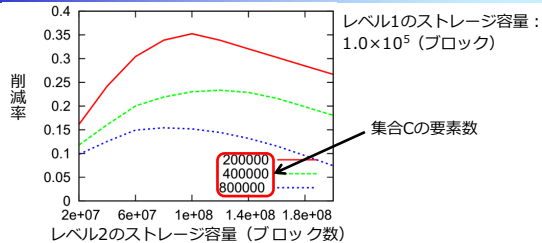
消費電力の削減率の算出

- 1週間分のシミュレーションを行い、レベル1とレベル2のルータにおけるブロックヒット率を求める
 - ブロックヒット率：ルータでヒットしたブロックの割合
- ブロックヒット率から消費電力モデルに基づき1週間の総消費電力量を求める
- 消費電力の削減率を求める
 - $(E_0 - E) / E_0$
 - E : キャッシュする場合の1週間の総消費電力量
 - E_0 : キャッシュしない場合の1週間の総消費電力量

2016/2/24

16

レベル2のストレージ容量の影響



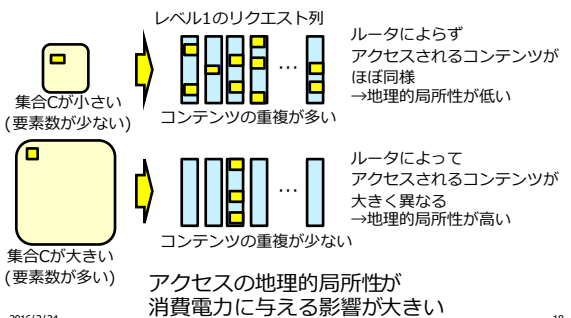
最大35%の電力が削減
レベル2のストレージ容量は削減率に大きく影響する
集合Cの要素数が多いほど消費電力の削減量は小さくなる

2016/2/24

17

アクセスの地理的局所性

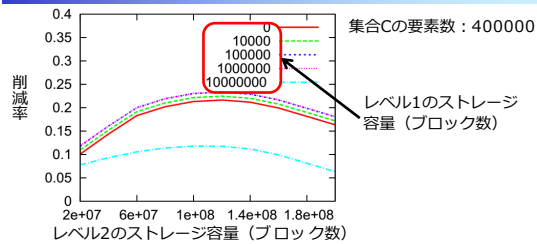
集合Cの要素数はアクセスの地理的局所性を反映する



2016/2/24

18

レベル1のストレージ容量の影響



レベル1のストレージ容量を増やしても影響は小さい
→レベル2のストレージ容量を増やすのが良い

2016/2/24

19

遅延開始率

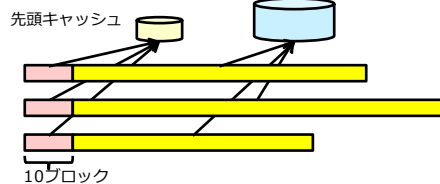
- 動画コンテンツは一般に先頭から順に再生される
 - 動画の先頭部分がキャッシュされていると再生の開始を早くできる
 - 再生中に残りの部分をダウンロードできる
- 遅延開始率
 - 再生の開始が遅延したリクエストが全体に占める割合
 - 先頭部分を(一部でも)サーバからダウンロードした場合、開始が遅延したとみなす
 - 先頭部分の長さは10ブロックとする

2016/2/24

20

キャッシュの分割

- 先頭部分を優先してキャッシュするため、ルータのストレージを2つに分割
 - 先頭キャッシュ
 - 先頭部分のみを保持
 - もう一方のキャッシュ
 - 残りの部分を保持
- 先頭キャッシュの割合が大きいほど、先頭部分が優先される



2016/2/24

21

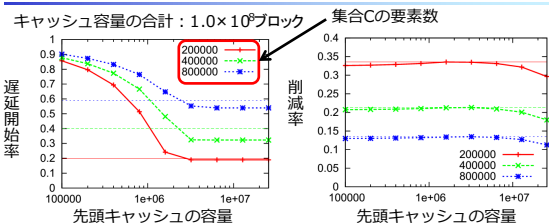
キャッシュ分割の効果の測定

- レベル2のルータでのみキャッシュする
 - レベル1のルータのストレージ容量を0とする
- キャッシュ容量の合計（先頭キャッシュ + もう一方）を固定
- 先頭キャッシュ容量を変化させて、遅延開始率と消費電力の削減率を調べる

2016/2/24

22

先頭キャッシュの容量の影響



直線は先頭キャッシュを用いない場合

先頭キャッシュを用いることで
削減率に影響を与えることなく遅延開始率を改善できる

2016/2/24

23

まとめ

- 動画共有サービスを対象として、ルータのストレージ容量が消費電力に与える影響について調べた
 - 最大で35%の消費電力が削減
 - アクセスの地理的局所性の影響が大きい
 - 最下位レベルのルータよりも上位レベルのルータに多くのストレージ容量を割り当てるのが有効
 - 動画コンテンツの特性を考慮して、先頭キャッシュを導入することで、遅延開始率が改善
 - 動画の先頭部分を優先してキャッシュする
- 今後の課題
 - 異なるアクセス履歴を用いた場合の評価
 - より現実的なモデルの構築
 - アクセスの地理的局所性
 - ユーザによる動画視聴の中断

2016/2/24

24

ネットワークの消費電力モデル

負荷*l*におけるルータの消費電力

$$ER(l) = \gamma (E_{idle} + (E_{max} - E_{idle}) \frac{l}{l_{max}})$$

オーバーヘッド(2とする) ルータの負荷

アイドル時消費電力 (最大の95%) 最大消費電力 最大通信容量

機種名	最大通信容量	最大消費電力	
Nexus 5010	520Gbps	450W	レベル1のルータ
CRS-3	4480Gbps	12000W	その他のルータ

2016/2/24

25

ネットワークの消費電力モデル

ルータにおける1Gbpsあたりの消費電力[lee2011]
(=転送量1Gbitあたりの消費電力量)

$$\frac{ER(l_{ave})}{l_{ave}}$$

l_{ave} はルータの平均負荷 (Gbps)
最大負荷の50%とする

[lee2011]
U. Lee, I. Rımac, D. Kilper, and V. Hilt,
"Toward energy-efficient content dissemination,"
Network, IEEE, vol.25, no.2, pp.14-19, 2011.

2016/2/24

26

ストレージの消費電力モデル

容量*s*のストレージの時間*t*の消費電力量

$$ES(s, t) = \gamma (E_c \frac{s}{C} + t)$$

オーバーヘッド(2とする) ストレージ容量

アイドル時消費電力 機器容量

時間

アクセス時の消費電力は含めない
→ストレージ容量の影響を受けないと考えられるため

機種名	機器容量	アイドル時消費電力
MZ7PD512BW	512GB	0.04W

2016/2/24

27