

広域ネットワークにおける動画像検索のための画像配信制御方式の評価

河合 由起子[†], 門林 理恵子[†], 砂原 秀樹^{††}

[†] 通信総合研究所, 〒 619-0289 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学, 〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

概要 動画像の代表的なキーフレームと検索キー画像との照合は, 登場人物や物体の色や配置等の特徴量に基づいた検索を可能にする. 著者らは, 広域ネットワーク上に分散している大量のキーフレームとの照合において, 検索キー画像をホスト間で効率よく配信する Query Routing System (QRS) の提案を行ってきた. この配信制御方式は, ホスト間のネットワーク遅延時間や照合の処理時間, さらに利用者の履歴情報等を評価要因とし, 階層分析法を用いて利用者毎に各時点で最適なホストを決定し, 検索キー画像を選択的に配信する手法である. 本論文では, 広域ネットワークにおける提案方式を検討するため, 大規模広域ネットワーク環境をシミュレートし, 検索キー画像の配信に必要なトラフィックの評価を行った. その結果, 提案方式によるトラフィックの削減が確認され, 有効性が示された.

キーワード 配信制御, 動画像検索, 広域ネットワーク, シミュレーション

A Evaluation of a Key-Image Forwarding Method for Searching Motion Pictures on a Wide Area Network

Yukiko Kawai[†], Rieko Kadobayashi[†], Hideki Sunahara^{††}

[†] Communications Research Laboratory, 2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0289

^{††} Nara Institute of Science and Technology, 8916-5 Takayama-cho, Ikoma-shi, Nara, 630-0101

Abstract To search motion pictures using the feature such as color and shape, the picture frames of a motion picture are matched with a key-image. In order to achieve searching for motion pictures from a number of them using the key-image, we have proposed the Query Routing System (QRS) which can forward efficiently the key-image between each host on a wide area network. The query routing method can forward a key-image only to appropriate hosts which are selected based on their favorable network conditions and the users' properties using AHP. In this paper, we evaluate a network traffic generated by forwarding a key-image using our proposed method in a large scale network on the model of the Internet architecture. The several experiments in the simulation showed the substantial reduction of the query traffic through the key-image forwarding.

key words Forwarding Algorithm, Searching Motion Pictures, Wide Area Network, Simulation

1 はじめに

近年, 超高速ネットワークの整備がバックボーンネットワークおよびアクセスネットワークの両面で進められており, テキストデータだけでなく画像や動画像等の大

容量データは増加の一途を辿っている. これら大量の動画像がインターネット上に広く分散している際に, 目的の動画像を効率よく検索する技術が求められている. 一般的な検索としては, 動画像の内容を解析したメタ情報を付加し, そのメタ情報を集積しデータベースを作

成し、検索キーであるキーワードとメタ情報を照合する方法がある^{1), 2)}。しかし、キーワードを用いた方法では、動画像を構成する代表的なキーフレーム画像の色や形といった特徴量に基づく検索が困難である。そこで、これまでのメタ情報を集積し照合する方法を用いてキーフレーム画像を集積し検索キー画像と照合する手法が考えられるが、キーフレーム画像はテキストデータと比較して大容量であるため、ネットワーク帯域の制限と集積するホストの処理能力より実現が困難である。一方で、広く分散した大量の情報を集積することなく検索を可能にする、分散型検索技術の研究開発が行なわれている。分散型の検索では、利用者の検索キーをホスト間で転送し、検索を実現している。

Gnutella³⁾では、検索キーはホスト間でバケツリレー方式に配信される。この検索キーの配信に生じるトラフィックを削減するため、TTL (Time to Live) を用いて配信先のホップ数を制限する手法を提案している。しかし、TTL の値を的確に設定する指針がないため、ホスト数の増加に伴い、検索キーが目的のホストへ到達する確率が低下してしまう。

文献 4) では、大規模ネットワークでの分散型の探索方式として通信コストと時間コストの評価量で探索効果を測定し、その時点で最も効果的と思われるホストへ配信を繰り返す手法を提案し、検索キー画像での探索を数値解析により評価している。しかし、通信コストや時間コストで探索する方式では、ホスト数の増加に伴う探索回数の増加や、目的のホストまでのネットワーク遅延が大きい場合のトラフィックの負荷が生じてしまう。

著者らは広域ネットワークに分散した動画像の検索システムとして、各ホストで検索キー画像を効率よく配信制御する Query Routing System (QRS) を提案し、プロトタイプを作成を行ってきた^{5), 6)}。提案方式は、評価要因を用いて意思決定法の 1 つである階層分析法により各時点で最適な配信先のホストを選出し、動的に検索キー画像を配信する。各評価要因の重要度は任意に決定できるため、利用者は検索毎に重要度の変更が可能である。

プロトタイプでは主な評価要因として、サービス遅延時間、アクセス回数、メタ情報等を利用した。サービス遅延時間は、QRS ホスト間のネットワーク遅延時間と照合実行時間を加算した RTT (Round Trip Time) で、検索時間の削減を目的に利用される。アクセス回数は、利用者が検索結果より動画像を視聴した際に各ホストへアクセスした回数である。メタ情報は、視聴した動画像に付加されているメタ情報である。アクセス回数とメタ情報は利用者の特性を反映した検索を目的に利用し、

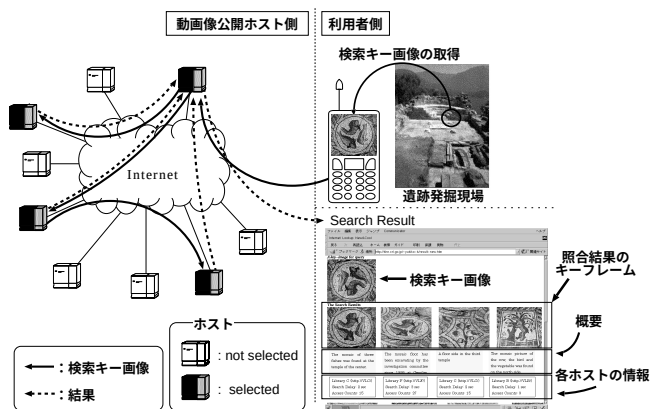


図 1: キー画像による動画像検索の概要

履歴情報として利用者側で保管される。検索キー画像は以上のネットワーク環境と利用者の履歴情報を用いて、QRS ホスト間で動的に配信されるため、検索キー画像の配信に必要なトラフィックを抑えつつ、目的の動画像を検索することが可能になる。

本論文では、提案方式の有効性を検討評価するため、実環境を想定し大規模で広域なネットワーク環境をシミュレートし、検索キー画像の配信に発生するトラフィックを計測し検討する。以下、2 章では、提案方式の基本原理由について述べ、3 章ではサービス遅延時間の異なる 100 台のホストを配置した環境での、検索キー画像の配信に生じるトラフィックの計測手法を示す。4 章では 3 章で示した計測手法の結果を提示し、実験結果に対する考察を述べ、5 章でむすびとする。

2 Query Routing System

本章では、提案方式を用いた場合の動画像検索の流れと、検索キー画像の配信制御方式について述べる。

2.1 検索の流れ

図 1 に提案方式を用いた場合の動画像検索の流れを示す。利用者はインターネット上の画像や自分で撮影した画像等を検索キー画像とし、任意のホストへ送る。ホストはキー画像を受信すると、キーフレームと照合する。同時に利用者が目的とするキーフレームを公開している確率が高いホストを選択し、そのホストへのみキー画像を転送する (ホストの選択方法は 2.2 で述べる)。このキー画像との照合およびホストの選択が各ホストで繰り返される。

返され、ホスト間でキー画像が転送される。キーフレームと検索キー画像の照合結果は、利用者からキー画像を受信したホストに直接返信される。各ホストより照合結果を受信したホストは照合率をソートし、上位10枚のキーフレームとその動画の概要およびメタ情報を回収し、検索結果として利用者へ返信する。

利用者は検索結果のキーフレームと概要等をブラウジングし、目的の動画を公開しているホストへアクセスし視聴する。視聴した際、そのホストに対するアクセス回数とメタ情報が履歴情報として更新/追加され、利用者側で蓄積される。

2.2 配信制御方式

キー画像を受信したホストは、評価要因を用いて階層分析法⁷⁾より利用者毎に各時点で最適なホストを選択し、キー画像を配信する。評価要因には、ネットワーク遅延やホストの処理能力、さらに利用者の履歴情報を用いた。各評価要因の重要度は可変なため、利用者は検索を依頼する際に評価要因の重みを任意に設定できる。プロトタイプでは以下の評価要因を利用した。

- 各ホスト間のサービス遅延時間

検索キー画像を配信し、照合結果が返信されるまでの(RTT: Round Trip Time)。ネットワークの遅延と照合に必要な時間の合計。

- 利用者の各ホストに対するアクセス回数

検索結果から動画を視聴するため、ホストへアクセスした回数。利用者側で累積される。

- メタ情報

利用者が動画を視聴した際に付加されているキーワード。利用者側で累積される。

各評価要因を F_0, F_1, F_2 とした場合のホスト $R_1, \dots, R_n$ の選出は、以下の式で導出される。

$$R_j = w_0 f_{0j} + w_1 f_{1j} + w_2 f_{2j} \quad (1)$$

$w_0, \dots, w_2 (\sum_{i=0}^2 w_i = 1)$ は評価要因の相対的重要度係数であり、 $f_{0j}, \dots, f_{2j} (\sum_{i=0}^2 f_{ij} = 1)$ はホストの相対評点である(詳細は文献5), 7)を参照)。総合得点 R_j が閾値以上のホストにのみ検索キー画像は配信される。

各ホストは配信の際、検索キー画像に利用者の履歴情報を添付する。受信したホストは同様に総合得点 R_j を算出する。

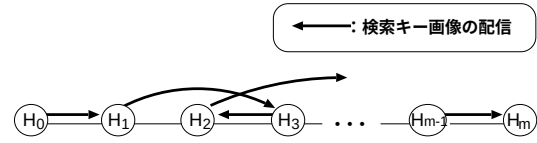


図 2: 検索キー画像配信の例

表 1: 利用したパラメータ

m	: ホスト数
N_{ij}	: H_i から H_j 間で発生するトラフィック総量
u	: ホスト間の一回の検索応答で流れるデータサイズ
v_{ik}	: H_i が k 回目に選択する QRS 数
T_{ij}	: H_i と H_j にかかるサービス遅延時間
a_i	: H_i のアクセス回数
p_i	: H_i のマッチングレート ($\sum_{i=1}^m v_i k = v$)

3 広域ネットワークでのキー画像配信のシミュレーション実験

本論文では、実環境における提案方式の評価を行うため、大規模で広域なネットワークをシミュレートし、検索キー画像の配信に生じるトラフィック総量を計測する。本章では、シミュレーションの設計について述べる。

3.1 モデル設計

ネットワーク構成は完全結合型とする。各ホストは物理的には完全結合型で接続されてはいないが、仮想的にコネクションを張れる TCP/IP ネットワーク上ではモデルとして完全結合型が利用可能である。

図2には検索キー画像配信の一例を示す。矢印はホスト間の検索キー画像の配信を示しており、サービス遅延時間やアクセス回数により矢印の向きは変化する。この図において Gnutella のパケットリレー方式では、矢印の向きは常に一定で H_i から H_{i+1} へ配信される。

シミュレーションは以下の仮定の下で行った。

(仮定 1) 各ホストは照合結果として1枚のキーフレームを返信する。

(仮定 2) 利用者は検索結果より、照合率が最大値であるキーフレームを含む動画コンテンツを視聴する。

(仮定 3) 各ホストの動画データベースのコンテンツは重複しないものとする。

(仮定 4) 利用者は H_0 へ検索キー画像を送信する。

今回は評価要因のうち、利用者の履歴情報の1つであるメタ情報に関しては、複雑化を避けるため取り扱わない。

表1に実験で用いた変数を示す。 H_i が検索キー画像を配信し、 H_j に検索キー画像が到達した時に発生するトラフィック総量 N_{ij} を定式化する。

ホスト間で一回の検索キー画像配信の応答に必要なデータサイズを u とする。 H_i は検索キー画像を受信すると、動画データベースのキーフレームと照合する。同時に、 H_i は階層分析法により他のホストを選択し、検索キー画像を配信する。検索キー画像の配信は、利用者が k 回目に検索キー画像を送信した場合、 $k-1$ 回目のサービス遅延時間とアクセス回数を利用するため、 $v_{i(k-1)}$ 台のホストが選択され配信される。よって、 $H_{i(i=0, \dots, m-1)}$ 間で検索キー画像の配信によって発生するトラフィック総量は次式で示される。

$$N_{ij} = u \sum_{i=0}^{m-1} v_{i(k-1)} \quad (2)$$

ここで、 H_i が検索キー画像を配信するホスト H_j は、サービス遅延時間 T_{ij} とアクセス回数 a_i を階層分析法を用いて決定されるため、階層分析法の関数を S とすると、 $v_{ik} = S(T_{ij}, a_i)$ となる。

トラフィック総量 N_{ij} は各種パラメータの値を変化させ計測する。パラメータは静的パラメータと動的パラメータに分類される。次に、シミュレーションに用いた静的パラメータと動的パラメータを示す。

3.2 静的パラメータ

静的パラメータは、ホスト数 m とデータサイズ u とする。データサイズ u は、ホストが検索キー画像を送信し照合率を受信するのに必要なデータサイズで、コネクション確立に必要なデータ、送信する検索キー画像データ²、結果の照合率を合計した値とする。 H_i で k 回目に転送されるホストの個数 v_{ik} の初期値は、 $v_{i0}=1$ [台]とする。以上の条件を式(2)に代入すると、以下の式(3)が得られる。

$$N = (1.4 \times 10^5) \sum_{i=0}^{99} v_{ik-1} \quad (3)$$

また、階層分析法に利用するサービス遅延時間 T_{ij} とアクセス回数 a_i の相対評点はどちらも有意差なしの1とした。

² プロトタイプでは検索キー画像を240 × 180 [ピクセル]の画像サイズに変換してホスト間で配信している。

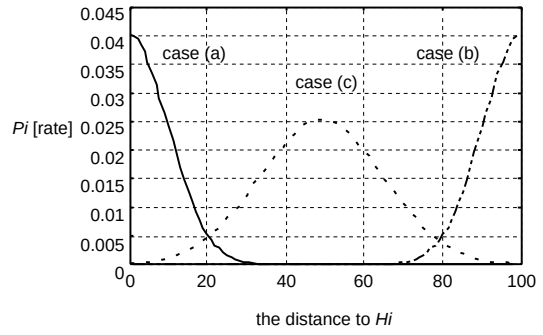


図 3: 照合率の分布

3.3 動的パラメータ

動的パラメータ v_{ik-1} は、 T_{ij} 、 a_i および p_i のパラメータによって変動する。シミュレーションを通じて各々のパラメータを下記のように変化させる。

k : 利用者が検索キー画像を H_0 へ送信した検索回数。

v_{ik-1} : H_i が $k-1$ 回目に検索キー画像を配信するホスト数

初期値は過去のアクセス回数がなく0なので、サービス遅延時間 T_{ij} のみ利用する。初期値以降は関数 S に従い変化する。また、選択されるホスト数 v_{ik-1} は最大5台までとした。

T_{ij} : サービス遅延時間

各ホスト間のサービス遅延時間を、 $1/m$ [秒]とする。[仮定4]より、 H_0 が利用者から検索キー画像を受信するため、 T_{0j} を $1/m \sim 1$ まで $1/m$ ずつ増加させる。

a_i : H_i へのアクセス回数

アクセス回数は利用者が検索結果から目的のフレームを蓄積しているホストへアクセスし、動画を視聴する回数である。ここで[仮定1]と[仮定2]より、利用者は照合率が最大のホストへアクセスし視聴するため、 H_i での a_i は以下の式で示される。

$$a_i = kp_i \quad (4)$$

p_i : 照合率

H_0 が利用者からの検索キー画像を受信した際の、 H_i における照合率の分布 p_i をケース(a),(b),

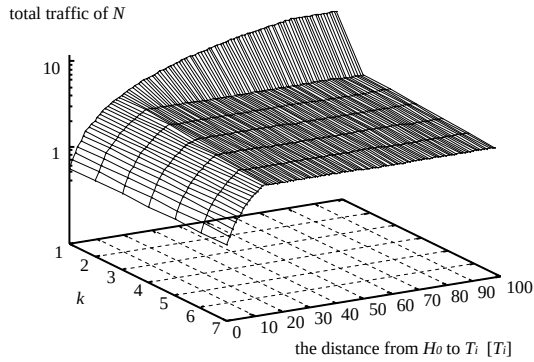


図 4: ケース (a)

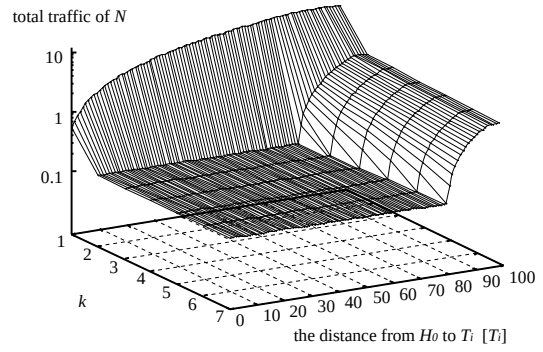


図 5: ケース (b)

(c) の 3 つに場合分けした. 図 3 に, 3 つに場合分けした p_i の分布を示す. 各々の標準偏差は, ケース (a), (b) を 9.9, ケース (c) を 50.0 とした.

ケース (a) : サービス遅延時間が小さいホストに照合率の高い情報が集中している場合
 H_0 に対して T_{0i} が小さいホスト H_i 程, 照合率の高いキーフレームを持っている.

ケース (b) : サービス遅延時間が大きいホストに照合率の高い情報が集中している場合
 H_0 に対して T_{0i} が大きいホスト H_i 程, 照合率の高いキーフレームを持っている.

ケース (c) : サービス遅延時間の平均値に近いホストに照合率の高い情報が集中している場合
 H_0 に対して T_{0i} が平均値に近いホスト H_i 程, 照合率の高いキーフレームを持っている.

以上のパラメータを用いて, H_0 が利用者から検索キー画像を受信し, 他の $H_i (i = 0)$ から結果を受信するまでのトラフィック総量 N を計測する.

ここで, サービス遅延時間以外にアクセス回数を利用した提案方式の有効性を確認するため, サービス遅延時間のみを利用した場合のトラフィックも計測した. サービス遅延時間のみを利用した比較方式では, 検索キー画像は T_{ij} が短いホストへ配信される.

4 シミュレーション結果と考察

図 4, 5, 6 に, ケース (a), (b), および (c) における k 回目のトラフィック総量 N のシミュレーション

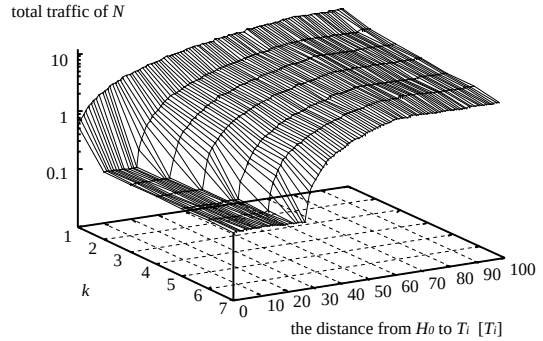


図 6: ケース (c)

結果を示す. まず, 各グラフの見方を説明する.

N 軸: H_0 から H_i までのトラフィック総量
 $(N \times 10^6 [\text{bytes}])$

k 軸: 利用者が検索キー画像を送信した検索回数

T_i 距離軸: H_0 から H_i までのサービス遅延時間

k 軸の $k = 1$ は, サービス遅延時間の情報のみで選択しており, 比較方式である. $k > 1$ は, サービス遅延時間とアクセス回数を利用してホストを選択し配信した提案方式である. 各グラフで T_i が 100 付近でトラフィック総量 N_i が一定になるのは, 配信先のホストがなくなり配信が終了したためである. 以下に各々のグラフについて考察する.

ケース (a) : 照合率の高い情報がサービス遅延時間の短いホストに集中した場合 (図 4)

$k > 1$ の時, k の増加に従って N は減少傾向にあり, アクセス回数の増加に伴ってトラフィックが減少していることが明らかになった.

また、 $k > 1$ でサービス遅延が $T_i > 20$ の時、トラフィック総量の変化がほぼ一定となった。これは、照合率の低い情報をもつ H_i が $T_i > 20$ に多く分布しているため、 H_0 から H_i のサービス遅延時間が大きくかつ照合率の低い H_i には検索キー画像が配信されなかったためと考えられる。

ケース (b) : 照合率の高い情報がサービス遅延時間の短いホストに集中した場合 (図 5)

$k > 1$ の時、 k の増加に従って N は減少傾向にあり、アクセス回数の増加に伴ってトラフィックが減少していることが明らかになった。

また、 $k > 1$ でサービス遅延が $T_i < 80$ の時、トラフィック総量がほぼ一定である。これはサービス遅延が短くても照合率が低いホストへは検索キー画像の配信が行われなかったためと考えられる。

ケース (c) : 照合率の高い情報がサービス遅延時間が平均値のホストに集中した場合 (図 6)

ケース (a), (b) 同様に、 $k > 1$ の時、 k の増加に従って N は減少傾向にあり、アクセス回数の増加に伴ったトラフィックの減少が示された。

ケース (a), (b) および (c) に共通することは、 $k = 1$ の比較方式と比べてトラフィックが削減されている点と、 k の増加に伴ってトラフィックが減少している点である。これにより、アクセス回数を利用することの有効性が示された。

5 結び

広域ネットワーク上に大量に分散した動画画像の検索システムとして、QRS の提案を行ってきた。QRS では検索キーに画像を用いることで動画画像のキーフレームとの照合を可能にする。提案方式では、キーワードと比較して大容量の検索キー画像をホスト間で効率よく配信するため、サービス遅延時間と利用者の履歴情報を評価要因とし、意思決定法の 1 つである階層分析法を用いて利用者毎に各時点で最適なホストへ検索キー画像を選択的に配信する。また、各評価要因の重要度は可変で、利用者は任意に重みを設定できる。

本論文では、実環境での有効性を検討するため、大規模な広域ネットワークとしてサービス遅延時間が異なる

100 台のホストを設定し、サービス遅延時間の近いホストに照合率の高い情報が分布している場合、遠いホストに分布している場合、中間のホストに分布している場合の 3 つの環境での検索キー画像の配信に伴うトラフィック総量をシミュレートした。提案方式をサービス遅延時間とアクセス回数よりホストを選択した場合とし、比較方式をサービス遅延時間のみを考慮して検索キー画像を配信した場合とした。その結果、いずれの環境でも提案方式によるトラフィック総量の削減が示された。また、アクセス回数の増加に伴うトラフィックの削減も示された。以上のことより提案方式の有効性が示された。今後、照合率にアクセス回数が依存しない場合やコンテンツが重複する場合の評価を行う必要がある。また、実環境でトラフィックを計測しシミュレーション結果との比較検討を行う予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、遺跡発掘調査の動画画像データを提供して頂いたビザンチン調査団に心より感謝致します。

参考文献

- 1) Altavista. <http://www.altavista.com/sites/search/svideo>.
- 2) Howard D. Wactlar, Michael G. Christel, Alexander, Yihong Gong and G. Hauptmann. Lessons Learned from Building a Terabyte Digital Video Library. *Computer*, pp. 66–73, February 1999.
- 3) Gnutella. <http://gnutella.wego.com/>.
- 4) 菅原真司, 山岡克式, 酒井善則. ネットワークにおける効率的画像情報探索法に関する検討. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-B-I, No. 8, pp.484–493, 1998.
- 5) 川崎由起子, 砂原秀樹. 動画画像情報検索のための動的な分散検索ネットワーク構築システムの提案. 画像電子学会, Vol. 28, No. 5, pp.543–551, October 1999.
- 6) Yukiko Kawasaki and Hideki Sunahara. An Architecture of the Distributed Multimedia Information Retrieval Network with Query Routing Systems. In *Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp.1179–1182, IEEE, August 2000.
- 7) 今野浩. 数理決定法入門. 朝倉書店, 1994.