

マルチメディアデータベースにおけるデータ配置

栗原正樹† 吉高淳夫† 平川正人† 市川忠男†

広島大学大学院† 広島大学工学部†

マルチメディアデータの取扱いが要求されるにつれてオブジェクト指向データベースへの期待が高まっている。オブジェクト指向データベースでは、二次記憶上のデータ配置がデータのアクセス所要時間に大きく影響する。

ところで、データベースで行われる操作の中には、データのアクセス所要時間が操作の結果に影響しないものがある。しかし、音声や動画像データを再生する場合などでは、決められた時間内に必要なデータのアクセスを終えていなくてはならない。つまり、扱うデータによってアクセス所要時間への要求が異なる。本稿では、その点に注目し要求に応じてアクセス所要時間を短くするデータ配置を提案する。

Data Allocation for Multi-Media Databases

M. Kurihara , A. Yoshitaka , M. Hirakawa , T. Ichikawa

Faculty of Engineering , Hiroshima University
Kagamiyama 1-4-1 , Higashi-Hiroshima 724 , Japan

As requirements for managing multi-media data increase, it becomes more effective to use object-oriented databases. For object-oriented database systems, the allocation of data in secondary storage greatly influences the time to access data. There are some database access operations whose results are not influenced by the access time. In case of the simultaneous playing back of sounds and animations, however, the necessary data must be read from the secondary storage. In another words, requirements of access time vary according to operations. In this paper we concentrate on the differences among the requirements to access time. Then we propose a data allocation method to reduce this access time depending on the requirements.

1 はじめに

現実世界の個々の物をオブジェクトとして表現、管理するオブジェクト指向の概念をデータベースシステムに導入することで、文字や数字だけでなく音声や画像といった異なるメディアのデータをより容易に統轄して扱うことができるようになった。しかし、そのようなシステムでマルチメディアデータを管理する際、データのアクセス所要時間を要求に応じて短くするように二次記憶上へのデータ配置を行うことが求められる。

オブジェクト指向データベースシステムにおけるオブジェクトは複雑な構造を持ち得る。そのため、あらゆる問い合わせパターンについて、データのアクセス所要時間を短縮させるようなデータ配置を行うことは困難である。データ検索においてはアクセス所要時間が短くなるようなデータ配置が望まれる[1,2]。しかし、全ての要求を満足するようなデータ配置は実現困難である。ところで、従来の事務処理等の応用においては、アクセス所要時間が処理結果に質的な影響を及ぼすことは無い。そのような場合には、ある処理のアクセス所要時間を犠牲にして他の処理のアクセス所要時間を短くするデータ配置を行うこともできる。しかし、音声や動画データ等を再生するにあたっては、アクセス時間が必要十分に短くなければ再生が途中で途切れてしまう[3,4]。言い換えると、アクセス所要時間が処理の結果に影響すると言える。

本稿では、マルチメディアデータの性質や利用方法に応じてアクセス所要時間に対する要求が異なることを考慮した、二次記憶上へのデータの配置方法を提案する。クラスタリングをした後、さらにアクセス所要時間の短縮するためにデータの複製を行う。データの複製には制約を設け、二次記憶に蓄えるデータの増加を防ぐことにする。

2章でまず本稿で前提としている環境について述べ、3章ではクラスタリングの手順について説明する。音声データや動画データを途切れ無く再生するにはアクセス所要時間が短いだけでなく、必要十分な速さでのデータ転送も必要である。そのためのデータ配置について4章で述べる。3章で説明するクラスタリング手法の評価について5章で説明し、

最後に6章でまとめる。

2 前提

2.1 データモデル

我々はこれまでにオブジェクト指向データベースモデル MORE[5] を提案している。本稿では、この MORE を仮定したデータ配置方法を提案する。

MORE では、オブジェクトとその集約関係、ならびにオブジェクトの属するクラスの階層によって現実世界を表現する。

MORE では、実際に値を持つオブジェクトをプリミティブオブジェクトと呼び、既に存在しているオブジェクトの集約操作によって定義されるオブジェクトを複合オブジェクトと呼ぶ。

オブジェクトの集約関係は、アグリゲーション階層において表現される。同じ性質を持つオブジェクトを管理するための枠組みをクラスと呼ぶ。全てのオブジェクトは少なくとも1つ以上のクラスに属している。クラスの汎化/専化関係はクラス階層として表現される。クラスの持つ性質はクラス階層に沿って継承される。

MORE のデータベーススキーマとしてのアグリゲーション階層とクラス階層に関する定義は、クラス記述においてなされる。データベーススキーマの例を図1に示す。図中の各楕円がひとつのクラスを

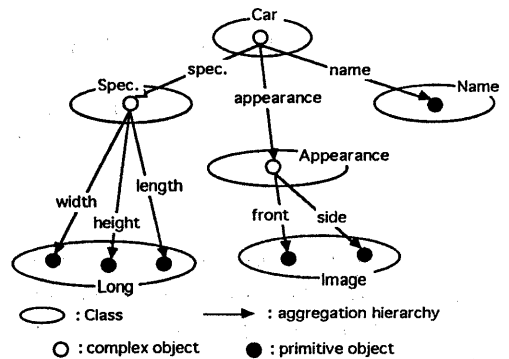


図 1: MORE スキーマ例

表わし、楕円の包含関係でクラス階層を表わしている。丸印はオブジェクトを表わしている。また、アグリゲーション階層は該当するオブジェクトを矢印のついた線で表現する。

MOREでは、オブジェクト間の時間関係については触れられていないが、インスタンス変数に時間の情報を持たせることで時間関係を定義するよう機能拡張を行っている。

2.2 記憶装置

持ち運びの手軽さ、大容量さ、そして大量複製時のコストの低さから、マルチメディアデータのための記憶装置としてCD-ROMが目目されている。本稿では二次記憶としてCD-ROMを想定する。なお、CD-ROMだけでは現実的な要求に応えるだけの十分な性能が引き出せない。そこで、Buffer Memoryへのデータ転送能力を補うために、データベース利用時にHard Diskを用いる。

Buffer Memoryとは、二次記憶から読み出されたデータが、何らかの計算や再生によって利用されるまで一時的に置かれる記憶装置である。Buffer Memoryへのアクセスは高速に行うことができ、アクセスにかかる時間は他の装置と比べて無視しうるものとする。

2.3 アクセスパターン

データの操作を行う時にアクセスが必要となるデータ(オブジェクト)の並びをアクセスパターンと呼ぶ。例えば、図1のデータベーススキーマにおいて、Carクラスのオブジェクトを構成するオブジェクトのうち参照名frontで参照されるオブジェクトをアクセスすることを考える。この場合、複合オブジェクトがその子オブジェクトの情報を持つとすると、まずCarクラスのオブジェクト、次にその子オブジェクトでAppearanceクラスのオブジェクト、さらにその子オブジェクトで参照名frontで参照されるオブジェクトの3つをアクセスすることになる。アクセスされるこれら3つのオブジェクトの並びをアクセスパターンと呼ぶ。

データ配置を決定する際、アクセス所要時間により厳しい制約が課せられるアクセスパターンに大き

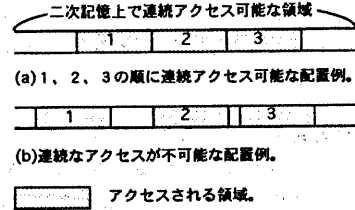


図 2: データの配置とアクセスの関係

な重みを付けておく。その順番に従って、CD-ROMへのデータ配置を行う。

3 アクセス所要時間を短縮するためのデータ配置

図2(a)のようにアクセスの対象となるオブジェクトが連続にアクセスできる配置ならばアクセス所要時間は最短になる。

しかしながら、ある視点の下で行われたクラスタリングに対して、別の視点からデータアクセスを行うとすると必要なデータが二次記憶上に散在することになる(図2(b))。

その結果、あるオブジェクトをアクセスした後、次にアクセスすべきオブジェクトを読み出すまでに記憶装置のヘッドの移動時間やディスクの回転待ち時間といったアクセスを行うことのできない時間が生じる。そのため、同じ数のオブジェクトをアクセスするとしても、配置位置の違いによってアクセスにかかる時間が変化する。

このような問題に対処するために、データの複製を作る方法がある。しかしながら、この方法では二次記憶に蓄えるべきデータ量が增大する欠点がある。そこで、本提案手法においてはある制約を設け、その範囲内でのみ複製を許すことにする。以下では、クラスタリングの手順について説明する

クラスタリングの実行に先立って、アクセス所要時間をより短くしておきたいアクセスパターンほどより大きな重みを付けておくようにする。オブジェクトの配置位置は、データの書き換え可能な記憶装置上で決定する。

クラスタリングの手順は次の通りである。

Step1 未処理のアクセスパターンのうち、最も大きい重みの付けられたものをクラスタリングの対象に選ぶ。

Step2 現在対象としているアクセスパターンでアクセスの対象となっているオブジェクトを1つのまとまり(1クラスタ)とする。ただし、既に配置位置が考えられているオブジェクトはクラスタリングの対象から外す。

Step3 Step2でクラスタリングの対象から外されたオブジェクトを、より多く連続にアクセスできるようにするために、他クラスタ内でのオブジェクトの配置位置を変更する。ただし、既に他のアクセスパターンのためのクラスタリングによって決定されたオブジェクトの配置位置は変えない。

Step4 Step3を行った後、連続なアクセスを行うためオブジェクトの複製を作る。ただし、後に示すような制約を設ける。

$$T_3 - T_4 > 0 \quad (1)$$

$$S_i \leq C - \sum_{j=1}^{i-1} S_j \quad (2)$$

$$\frac{T_3 - T_4}{S_i} \geq k \cdot (1 - w) \quad (3)$$

C: 二次記憶の中でオブジェクトの複製のために使うことのできる容量。

k: 複製の単位大きさ当たりで、少なくともどれだけのアクセス所要時間の改善がなされるべきかを示す値。

S_i : i 番目に対象とするアクセスパターンでのアクセス所要時間を短縮するために作られる複製の容量。

T_3, T_4 : それぞれ、Step3またはStep4の方法でオブジェクトの配置を行った後、対象としているアクセスパターンでオブジェクトをアクセスした時にかかるアクセス時間。

w: 重み ($0 \leq w \leq 1$)。

これらの制約によって無秩序に複製を作ることを防ぐ。まず、より多くのオブジェクトを連続にアクセスできるように式(1)と(2)の条件を満たすオブジェクトの複製を作る。そして、式(3)の制約を満たすまで、複製を作ったオブジェクトのうち単位大きさ当たりでのアクセス所要時間の改善率が最も悪いオブジェクトの複製の許可を取り消す。

Step5 対象とすべきアクセスパターンがまだ存在すればStep1に戻る。

アクセスパターンによっては、1クラスタ内でのオブジェクトが並ぶ順番を決めなくとも良い場合がある。この場合配置順序が変わってもアクセス所要時間は変化しない。Step3ではその事を利用している。

式(1)はアクセス時間の短縮が不可能な複製を許可しないための制約である。式(2)では必要な二次記憶の空きがあれば複製を許可する。また、式(3)の左辺は、複製を作った時に単位大きさ当たりどれだけのアクセス時間の改善が行えたかを示している。そして、式(3)全体で、アクセス時間の改善が複製の単位大きさ当たり $k(1-w)$ 以上行えた時に複製を許可する事を示している。重み w が大きいほど右辺の値は小さくなり、制約が緩くなる。

4 連続な再生を実現するためのデータ配置

音声や動画等の場合には、再生が途中で途切れ無ないように配慮しなければならない。そこで、メディアデータの特性に応じて必要な速さで二次記憶からデータを読み出す手法の研究がなされている[6,7]。

データの再生にあたっては、対応するデータが既に二次記憶から Buffer Memory 内に読み出されている必要がある。図3(a)の場合、 $t = T$ 以降で再生の途切れが起こるが、図3(b)のように再生開始時刻以前に Buffer Memory にデータの転送を開始(データの先読み)することによって再生の途切れを回避できる[6]。

ここで提案する手法では、まずデータベースの利用を始める前に再生の途切れが起こる可能性について調べ、途切れが起こる場合にはあらかじめ Hard

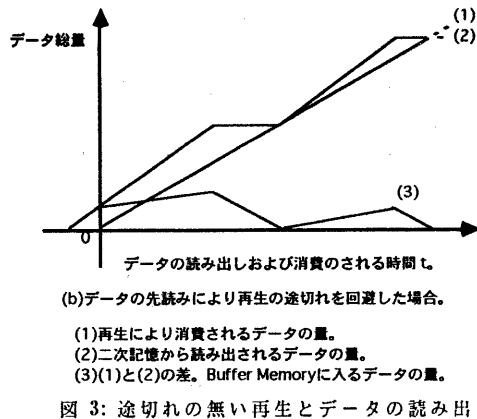
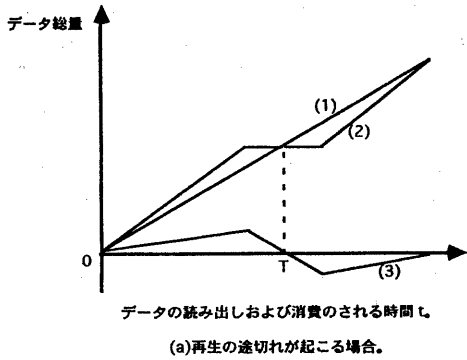


図 3: 途切れの無い再生とデータの読み出し

Diskにデータの複製を作っておく。そして、データ再生時にはその複製をアクセスすることでデータの転送速度を改善する。

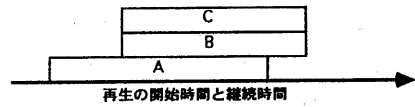
4.1 パラメータ

以降で用いる変数について以下に説明する。

R_{CD}, R_{HD} : それぞれ CD-ROM あるいは Hard Disk から Buffer Memory へのデータ転送速度。

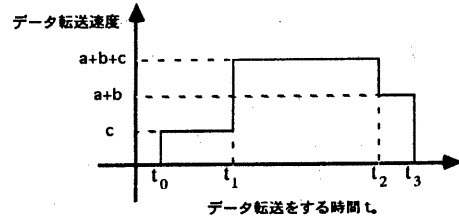
$T_{CD}(t_1, t_2), T_{HD}(t_1, t_2)$: データの再生を行っている時、時刻 t_1 から t_2 までの間にそれぞれ CD-ROM または Hard Disk から Buffer Memory へデータを送る時間。

$T_w(t_1, t_2)$: 時刻 t_1 から t_2 までに二次記憶からデータの読み出しが行われていない時間。CD-ROM 装置や Hard Disk 装置のヘッドの移動や回転待ち時



(a) 同時に再生されるオブジェクト間の時間関係。A, B, C はオブジェクト。

オブジェクト A, B, C のデータを途切れなく再生するのに必要なデータアクセス速度をそれぞれ a, b, c とする。



(b) データの途切れのない再生を行うのに必要とするデータ転送速度。

図 4: “期間” の定義

間といったデータ読み出し以外の動作にかかる時間。なお $(t_2 - t_1)$ は $T_{CD}(t_1, t_2) + T_{HD}(t_1, t_2) + T_w(t_1, t_2)$ に等しい。

C_i : あるひとつのプリミティブオブジェクト i が持つデータを途切れることなく再生するのに必要なデータ転送速度。

B : Buffer Memory の最大記憶容量。

以降の議論を進めるにあたり、データの転送を行っている間の R_{CD} と R_{HD} 、データ再生中の C_i は一定とする。

同時にいくつかのデータを再生するのに必要とされる転送速度がある値で固定されている間を 1 つの期間と呼ぶ。オブジェクト間の時間関係が図 4(a) で表わされる時、データの途切れの無い再生に必要とされるデータ転送速度は図 4(b) で表わされ、 $(t_0 \leq t \leq t_1)$ 、 $(t_1 \leq t \leq t_2)$ 、 $(t_2 \leq t \leq t_3)$ がそれぞれ期間である。

4.2 データ配置の手順

期間毎に連続な再生を行うためのデータ転送を実現するデータ配置についてその手順を説明する。

Step1 最初の期間 $t_0 \leq t \leq t_1$ を対象とする。

Step2 対象としている期間 i ($t_i \leq t \leq t_{i+1}$) で二次記憶から読み出せるデータ量と再生に必要なデータ量の差 B_i が期間中常に正であれば、次の期間を対象とする。

データ量の差 B_i は次の式で表わされる。

再生されるデータが1つの場合

$$B_i = R_{CD} \cdot (t - t_i) - C_1 \cdot (t - t_i) \quad (4)$$

同時に再生されるデータが複数の場合

$$B_i = R_{CD} \cdot T_{CD}(t_i, t) + R_{HD} \cdot T_{HD}(t_i, t) - (t - t_i) \cdot \sum C_j \quad (5)$$

B_i が負になり $|\min\{B_i\}| > B$ となる時、もしくは必要な先読みが不可能な場合は Step3 に移る。それ以外の場合は、次の期間を対象として Step2 を行う。

Step3 期間中に再生されるデータの中で B_i が負になるものがあれば、そのデータ全体の複製を Hard Disk に置き、Step2 へ戻る。このようなデータが無い時は、途切れの無い再生の為に必要なデータ転送速度がより速いものを選ぶ。そして対象としている期間中に再生される部分のみの複製を Hard Disk に置き、Step2 へ戻る。

データ量の差 B_i が負になる場合は、データの転送速度が必要十分でないことになり、再生の途切れが生じることになる。Step2 で示した B_i が常に $|\min\{B_i\}| \leq B$ を満たせば、再生を開始する前に Buffer Memory にデータを読み出すことで途切れの無い再生が可能である。しかし、他期間でのデータアクセスへの影響を考慮する必要がある。まず、注目している期間 i ($t_i \leq t \leq t_{i+1}$) で、 $t = t_i - \Delta t_i$ からデータアクセスを開始すると Buffer Memory を使った途切れの無い再生が可能であると仮定すると、期間 $(i-1)$ のアクセスが $t = t_i - \Delta t_i$ までに終了していなくてはならない。期限までにアクセスを終えるために必要な Buffer Memory の容量を B_{i-1} とした時、 $B_{i-1} > B$ となると期限内にアクセ

スを終了することはできない。 $B_{i-1} \leq B$ であれば期間 $(i-1)$ でのアクセスは期限内に終わることが可能と言えるが、より前の期間 $(i-2)$ のアクセスを期限までに終わることができるかを考慮しなくてはならない。

Step3 でデータの複製を作るが、再生を行う時は複製をアクセスする。また、Hard Disk に置かれているデータの中で、再生時に連続にアクセスされるものは Hard Disk 上でも連続にアクセスができるように配置し直す。

5 実験

3章で述べたクラスタリングを実際に行い、クラスタリングを Step1 から Step3 へと進めるにつれてアクセスパターン毎のアクセス所要時間がどのように変化するかをあるシステム環境で実測した。実験に用いたデータベーススキーマを図5に示す。アクセスパターンは以下の10種類を想定した。

AP-1 Car クラスに属するオブジェクトを構成しているオブジェクトで、参照名 price で参照されるオブジェクトをアクセスする。

AP-2 Car クラスに属するオブジェクトを構成しているオブジェクトで、参照名 name で参照されるオブジェクトをアクセスする。

AP-3 Scene クラスに属するオブジェクトを構成しているオブジェクト全てをアクセスする。

AP-4 Image クラスに属するオブジェクトを構成するオブジェクト全てをアクセスする。

AP-5 Portrait クラスに属するオブジェクト全てをアクセスする。

AP-6 Engine クラスに属するオブジェクトを構成するオブジェクト全てをアクセスする。

AP-7 Car クラスに属するオブジェクトを構成しているオブジェクトで、参照名 spec. で参照されるオブジェクトを構成するオブジェクト全てをアクセスする。

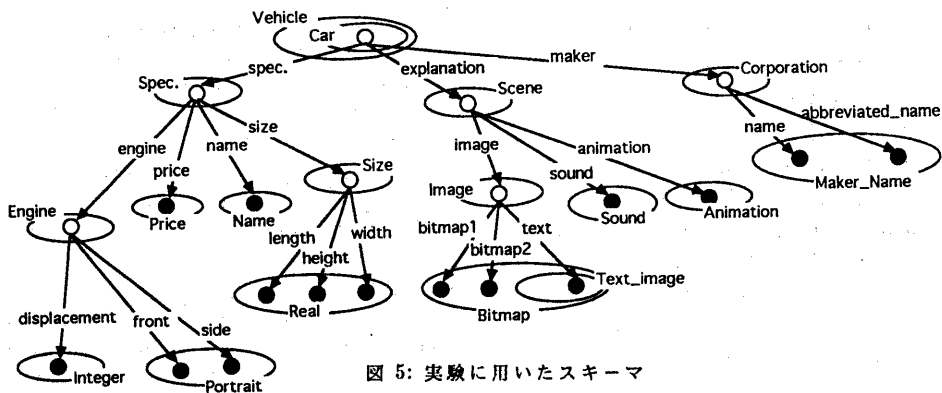


図 5: 実験に用いたスキーマ

AP-8 Car クラスに属するオブジェクトを構成しているオブジェクトで、参照名 displacement で参照されるオブジェクトにアクセスする。

AP-9 Maker_Name クラスに属する全てのオブジェクトにアクセスする。

AP-10 Corporation クラスに属するオブジェクトの子オブジェクトで参照名 name で参照されるオブジェクトを全てアクセスする。

プリミティブオブジェクトがもつ具体値は数値、文字列、静止画、音声、そして動画像データを用いた。各データの大きさは以下の通りである。

整数	2bytes または 4bytes
文字列	10 ~ 20bytes
静止画	77, 878bytes
音声	57, 395 ~ 191, 170bytes
動画像	197, 436 ~ 362, 300bytes

複合オブジェクトはその子オブジェクトを識別するための情報を持つ。

実験は IBM-PC 互換機上で行った。用いた記憶装置の性能はデータ転送速度が平均 161kbytes/sec であり、あるデータをアクセスし連続してアクセスできない位置にあるデータのアクセスを開始するまでの平均シーク時間は 47.1 msec である。記憶装置の総容量は 293.4Mbytes である。

実験では図 5 の Car クラスの複合オブジェクトで 350 件のデータを用意した。そして、データの複製をひとつも作らない時のデータの総容量は 272.8Mbytes とした。アクセス所要時間の短縮のために行うオブジェクトの複製のために使うことのできる記憶装置の空き容量は $C = 20.7Mbytes$ である。

式 (3) の k の値を 6.05×10^{-7} とした。計測した結果が表 1 である。アクセスパターンの欄にある AP-1 から AP-10 は本章で用いている記号と対応している。各アクセスパターンに表 1 にあるような重み付けを行った。データアクセスの最短時間とは、オブジェクトが全て連続にアクセスできる配置になっている時のアクセス所要時間を示す。また、 T_i は Step i までのクラスタリングを行った後、対象としているアクセスパターンでオブジェクトのアクセスを行ったときの所要時間である。 T_i/T_1 は、 T_i とアクセス所要時間の最短値との比であり、この値が 1 に近づくほど最短値に近付いていることを示す。

アクセスパターン AP-1、AP-3、AP-5 では、3 章で述べた手順の Step2 を終えると全てのオブジェクトを連続にアクセスできる配置になっている。そのため、アクセス時間が最短になっている。

アクセスパターン AP-6 で Engine クラスの複合オブジェクトとその 3 つの子オブジェクトにアクセスするが、オブジェクトの複製を作ることなく全てを連続にアクセスすることはできない。しかし、参照名 front または side で参照される子オブジェクトを連続にアクセスできるようにアクセスパターン AP-5 のためのクラスタ内での配置位置を変えることによって、他のアクセスパターンによるアクセスの所要時間に影響を与えることなしにアクセス所要時間を短縮することができた。

6 おわりに

本稿では、メディアデータ毎にアクセス所要時間に対する要求が異なることに注目し、アクセスパターンを利用したデータ配置方法を提案した。

また、提案したクラスタリング手法で実際にデータの配置を行うプログラムを作成し、アクセス時間の改善の度合いを調べた。

現在、4章で述べた途切れの無い再生のためのデータ配置方法の有効性について調査中である。また、本稿では二次記憶装置としてCD-ROMドライブを想定し、途切れの無い再生を行うために必要な速度でデータのアクセスを行うための補助としてHard Diskドライブを想定している。提案した手法が他のメディアの記憶装置を想定した場合に有効であるかどうかについては今後考察する必要がある。

参考文献

- [1] Jia-bing R. Cheng and A. R. Hurson, "Effective Clustering of Complex Objects in Object-Oriented Databases", Proc., ACM SIGMOD'91, pp.22-31, 1991.
- [2] M. M. Tsangalis and J. F. Naughton, "A Stochastic Approach for Clustering in Object Bases", Proc., ACM SIGMOD'91, pp.12-21, 1991.
- [3] C. Yu, Wei Sun, D. Bitton, Qi Yang, R. Brunp, and J. Tullis, "Efficient Placement of Audio Data on Optical Disks for Real-Time Applications", Communications of the ACM, Vol. 32, No. 7, pp.862-871, 1989.
- [4] P. V. Rangan and H. M. Vin, "Efficient Storage Techniques for Digital Continuous Multimedia", IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol. 5, No. 4, pp.564-573, 1993.
- [5] K. Tsuda, K. Yamamoto, M.Hirakawa, and T. Ichikawa, "MORE: An Object-Oriented Data Model with a Facility for Changing Object Structures", IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol. 3, No. 4, pp.444-460, 1991.
- [6] J. Gemmell and S. Christodoulakis, "Principles of Delay Sensitive Multi-Media Data Retrieval", International Conference on Multi-media Information Systems '91, pp.147-158, 1991.
- [7] Huang-Jen Chen and T.D.C.Little, "Physical Storage Organizations for Time-Dependent Multimedia Data", Foundations of Data Organization and Algorithms, pp.19-34, 1993.

アクセスパターン	重み	アクセスするデータ総量(bytes)	データアクセスの最短時間 T(sec)	T ₂ (sec)	T ₂ /T	T ₃ (sec)	T ₃ /T	T ₄ (sec)	T ₄ /T	二次記憶の残り容量 C(bytes)
AP-1	0.99	110,600	5.29	5.29	1.00	5.29	1.00	5.29	1.00	20,572,629
AP-2	0.90	114,548	5.90	15.51	2.63	15.51	2.63	5.90	1.00	20,485,829
AP-3	0.60	217,758,745	1706.66	1706.66	1.00	1706.66	1.00	1706.66	1.00	20,485,829
AP-4	0.52	81,882,500	634.06	658.45	1.04	658.45	1.04	652.39	1.03	132,179
AP-5	0.50	54,559,400	420.38	420.38	1.00	420.38	1.00	420.38	1.00	132,179
AP-6	0.40	54,625,900	444.42	477.34	1.07	447.52	1.01	447.52	1.01	132,179
AP-7	0.30	47,037,399	396.61	499.26	1.26	499.26	1.26	493.07	1.24	623
AP-8	0.25	153,300	7.84	13.11	1.67	13.11	1.67	13.09	1.67	185
AP-9	0.20	58,800	2.87	2.87	1.00	2.87	1.00	2.87	1.00	185
AP-10	0.19	29,326	1.72	2.93	1.70	1.72	1.00	1.72	1.00	185

T_i Step iまでのクラスタリングを終えた時、対象としているアクセスパターンでアクセスした時のアクセス所要時間。単位は秒。

T_i/T アクセス所要時間の最短値TとT_iの比。

表1 実験結果