

監視用デジタルレコーダー向けデータ管理プラットフォームの開発 Data management system for digital video recorder

野口 正雄[†] 島田 昌明[†] 森田 知宏[†]
Masao Noguchi Masaaki Shimada Chihiro Morita

1. はじめに

セキュリティ意識の高まりにより、監視映像記録が近年広く利用されている。映像監視においては、監視用レコーダーに複数のカメラを接続して同時に記録する方法が一般的である。

ところで、この監視用レコーダーにおいては、預金者保護法の施行を背景に、金融機関を中心に監視映像の記録データ保存の長期化が市場より望まれており、年単位での記録といったニーズも高まっている[1]。そのため、これまで以上に記録効率の向上を図り、記録容量を低減する必要がある。監視用レコーダーでは、カメラの映像を、JPEG2000 や MPEG-4 といった高圧縮な動画圧縮技術で圧縮[2] [3]し、さらに記録映像の画質やフレーム数を調整して長期間記録を実現する[4]。このため、単位時間に記録すべきデータサイズはカメラ毎に大きく異なるサイズとなる。また、有事の際の証拠能力を高めるために、映像、音声の記録だけでなく、レジでの品目データや、キャッシュディスプレイでの操作情報など多様なメタデータも映像と関連付けて同時に記録/再生することが要望されている[5]。

このように、監視用レコーダーのデータ記録においては、長時間のマルチチャンネルのデータを効率的に管理するとともに、多様なデータに柔軟に対応することが必要となる。本稿では、このような監視用レコーダーの記録に適した独自ファイルシステムを用いたデータ管理プラットフォームを提案する。

2. 監視用レコーダーにおける記録再生要件と課題

2.1 多チャンネル録画/再生

監視用レコーダーでは、複数のカメラの映像を同時に記録する必要があり、これら複数のカメラは設置場所などに応じてそれぞれ画質やフレームレートを独立して設定する。たとえば、あるカメラは 1 秒当たり 15 枚の映像を記録し、また、別のカメラでは、4 秒に 1 枚の映像を記録するため、生成されるデータ量はカメラごとに大きく変動する。そして、記録された映像は、同時刻の複数のカメラ映像を同期して再生する必要がある。

また、監視用レコーダーでは、映像音声情報のみならず、対象カメラの映像に動きがあったかどうかの動き検知情報や、レコーダーに接続したセンサーのアラーム情報など映像検索を目的とした各種メタデータも多重化される。さらに、例えば、スーパーのレジに設置したカメラであれば購

[†]三菱電機株式会社 先端技術総合研究所
Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

入品目の情報や、銀行のキャッシュディスプレイに設置したカメラであれば、そのときに引き出した金額などの情報を同時に記録することも要求される。どのようなメタデータを記録するかは、監視用途によってさまざまであり、将来的に記録するデータが追加される可能性がある。このように、映像やメタデータなどの特性の大きく異なる多様な可変サイズのデータを効率よく管理し、記録すべきメタデータの種類の増加などに如何に柔軟に対応するかが課題となる。

2.2 長時間連続記録運用

監視用レコーダーでの記録においては、多チャンネルのカメラ映像を長時間にわたって確実に記録できることが重要である。24 時間連続して記録することが前提となるため、記録媒体の容量が足りなくなった場合には、古い記録から削除して上書きする方式が一般的である。このとき、記録映像の重要な部分に対してデータが上書きされないように、対象期間を指定してユーザーがデータ保護範囲を指定することが可能である。このようにして記録/削除/保護/上書きといった処理を長期間にわたり繰り返しおこなった場合、記録データの断片化が発生し、アクセス性能の低下につながってしまう。そこで、データの断片化を極力抑制することが課題となる。

2.3 データの検索性

監視用レコーダーでは長時間の連続記録を行うため、データの記録期間は非常に長くなる。有事の際には、膨大な監視データから所望のデータを検索する必要があるが、検索に時間がかかるとユーザービリティが損なわれる。また、通常の再生においても、同時刻に記録した複数のチャンネル映像を同時に再生することで、映像の検索性を高めることが可能となる。すなわち、複数チャンネルのデータへの速やかなアクセスを実現するデータ管理機構が重要となる。

3. データ管理プラットフォームの概要

3.1 目的

監視用レコーダーの要件に応えるために、独自ファイルシステムを開発した。今回の開発では、次の 3 点に注力している。1 点目は長時間記録のために記録媒体に無駄な領域を極力作らないようにデータを配置し、データの断片化によるパフォーマンス低下を抑制すること。2 点目は多様なデータを柔軟に多重化できること。そして、3 点目は多チャンネルの動画圧縮データやメタデータを効率的に読み出せるようなデータ管理を行うことである。

また、独自のファイルシステムとすることのメリットとして、記録されたデータの不正な読み出しに対する危険性を低減する効果もある。

これらを考慮したデータ管理プラットフォーム構造の概要について、以下で説明する。

3.2 基本データ管理構造

データを記録する領域は 3 階層のデータ管理構造で構成する。図 1 は記録媒体における領域を示したものである。記録媒体はデータ管理領域とデータ領域に分けられ、データ領域は、エリア (Area) と名づけたデータブロックと、キュービクル (Cubicle) と名づけたデータ区画、そして、バスケット (Basket) と名づけたパケット構造で構成する。

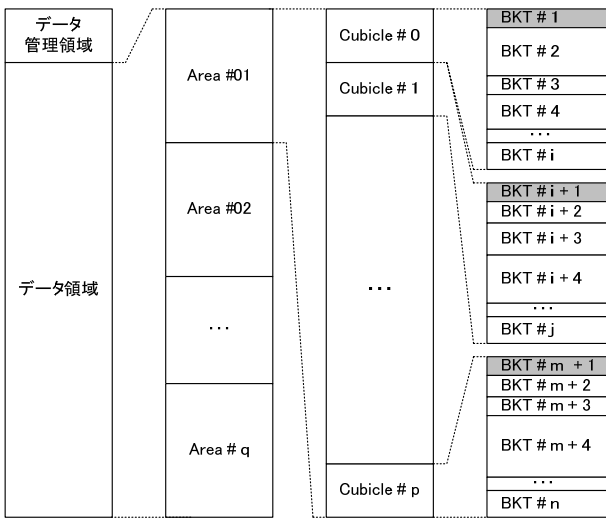


図1 データ管理構造概要

本プラットフォームで特徴となる点は、多様なデータを統一的なパケット形式 (Basket) で格納する点である。映像データ、音声データ、各種メタデータ、および、それらに関連付けするマッピングデータなどのデータを Basket というパケットで時系列に多重化する。このことにより、将来追加されるメタデータなど多様なデータを柔軟に格納することが可能となる。

そしてこの Basket を、データ領域の Area に記録する。Area は、固定長のブロック領域で構築する。この Area は物理的に連続したアドレス順に Area 番号が付与され、この Area 単位でデータの削除や上書きの管理を行う。

データ管理領域には、データの属性やデータのつながりを管理するリンク情報を格納する。また、リンク情報の更新アルゴリズムにより、断片化を最小限に抑えるようなデータ管理を行っている。

そしてこの 1 つの Area 内は、Area よりも小さな固定長区画 (Cubicle) でさらに管理される。Cubicle の先頭には、ポインタ機能を有する Basket を配置する。

次章にて、これらの構造の詳細について説明する。

4. データ管理機構詳細

4.1 Basket 構造

Basket は、固定長のバスケットヘッダと、可変長のペイロードで構成する (図 2)。ヘッダ部では、ペイロードの種別を示すバスケット種別 ID (BKT_TYP_ID) と、カメラのチャンネルなどを識別するバスケット ID (BKT_ID) と、バスケットサイズ情報 (BKT_size) と、前後のバスケット位置を示す前後ポインタ情報などで構成する。

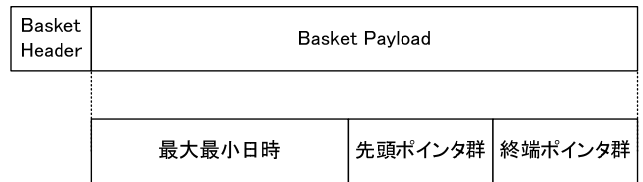


図2 バスケット構造

各バスケット種別には一意の BKT_TYPE_ID が付与され、この ID によりペイロードのデータ種別が識別される (図 3)。本データ種別は、データバスケット (D-BKT)、エン트리バスケット (E-BKT)、および機能バスケット (F-BKT) の 3 種類に大別され、さらにそれぞれがより詳細なバスケット種別に分類される。D-BKT は、映像や音声やメタデータやカメラのタイトルなど、ユーザーにとって有意なデータを格納する。E-BKT は、アラーム情報に対応する映像データの位置情報などを格納する。F-BKT は、Cubicle 内データを管理するビーコンバスケットなどを格納する。

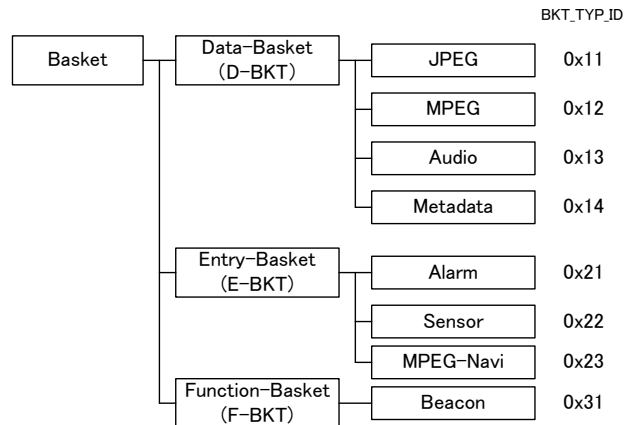


図3 BKT_TYP_ID のマッピング

次に前後ポインタ情報について説明を行う。本データ管理プラットフォームでは時系列にデータを格納するが、通常、単純に多チャンネルのデータを時系列に格納しただけでは、所望データの検索処理が複雑となり再生時の性能が低下するといった問題がある。そこでパケットごとに識別子とポインタ情報を付与して一元管理するようにした。識別子がカメラのチャンネルを示し、各 Basket のポインタ情報は、同じ ID の Basket について一時刻前と一時刻後の Basket 位置を示す。この結果、記録された全チャンネルの中から特定のものを選択して再生する場合などにも、所望の Basket 位置を

即座に知ることが可能となる。

また、本データ管理プラットフォームでは、1 つのデータを複数の Basket に分割して格納することを可能としている。この管理は、バスケットヘッダに設けた分割状態を示すフラグ (d_indep) により行い、その Basket が独立の Basket であるのか、あるいは前後の Basket と結合されたものなのかを管理する。この結果、Cubicle 境界をまたぐ Basket を分割して格納することや、Cubicle サイズを超えるデータの格納を可能としており、無駄な空容量を作らないよう配慮した構造となっている。

このような Basket 構造により、映像音声情報だけではなく、監視用レコーダーへのメタデータ情報などを統一的に管理することができる。その結果、多様なデータの格納に柔軟に対応するとともに、所望のデータへの容易なアクセスを実現する。

4.2 Cubicle 構造

前節で説明した Basket の集合体を Cubicle という概念として定義する。この Cubicle は固定長の区画として構成される。

本 Cubicle の先頭にはビーコンバスケット (図 4) と呼ばれる機能バスケットが配置される。ビーコンバスケットは、Cubicle ごとに格納されているデータの最大最小日時情報と、バスケット ID ごとに Cubicle 内に出現する最初のバスケット位置と最後のバスケット位置を示すポインタ情報を保持した機能バスケットである。本ポインタ情報により、特定のチャンネルに係る映像音声情報やメタデータを素早く読み出すことが可能となる。

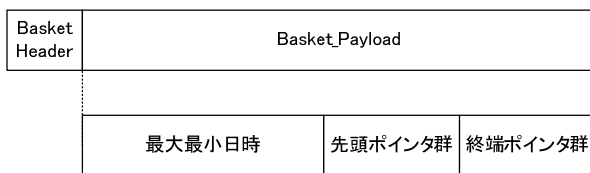


図 4 Beacon Basket のデータ構造

Cubicle は、ビーコンバスケットを含め、固定長の 2MB で構成される。この Cubicle 単位でデータの読み書きを行う。データの記録の際には、符号化されたカメラ映像データや、あるいは、ネットワーク経由で受信した映像パケットなどを Basket 化し、それらを時系列に Cubicle に保存する。そして再生時には、所望のデータを格納する Cubicle とともにその先の Cubicle を同時に読み込んで内部メモリに展開する。最初の Cubicle の再生が終わると、さらに次の Cubicle を読み出して再生を継続する。もし可変長のファイルとしてデータ管理を行っていた場合、記録時間やフレームレートや記録チャンネル数に応じて、内部メモリへの展開量を増減しなければならないが、今回、固定サイズの Cubicle を単位として記録ストリームの管理を行うため、記録条件やメタデータなどが変化しても、必要以上に大きな内部メモリを保持する必要がなく、メモリ管理を簡略化できるという利点がある。

4.3 Area 管理構造

データ領域に 64MB 単位の固定長ブロック領域として Area を構成する。この Area 管理のための管理領域は、データ管理領域内に記録され、エリアリンクテーブル (ALT: Area Link Table)、エリアサーチテーブル (AST: Area Search Table) の情報で構成する (図 5)。

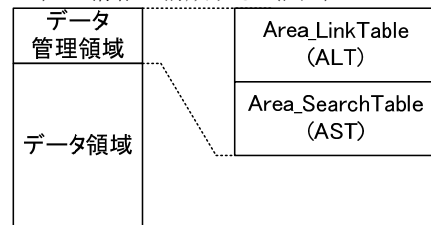


図 5 エリア管理構造

ALT は、Area 間の相互接続関係を示すテーブルであり、総 Area 数、最新 Area 番号と、Area 間のチェインを明示する接続ポインタで構成する。Area 番号は、物理アドレス順に付与する。この Area 間のチェインは、アクティブエリアリンクと保護エリアリンクの 2 つのリンクで構成されるダブルエリアリンクという構造をとる。ダブルエリアリンクの概念図を図 6 に示す。

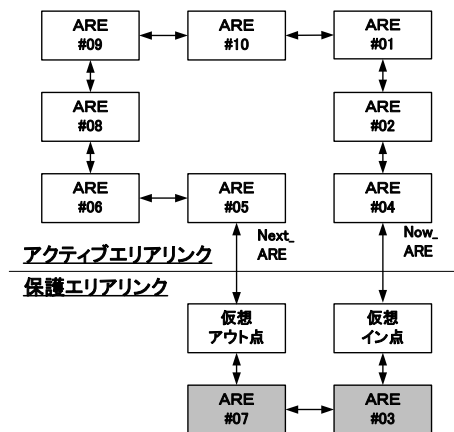


図 6 ダブルエリアリンクの概念図

ダブルエリアリンク構造におけるアクティブエリアリンクとは、記録データが順次更新される Area のリンクとなっている。また、保護エリアリンクとは、ユーザーの保護指定により保護された Area のリンクであり、上書きを行わない Area となる。なおそれぞれの Area は時系列で接続される。これらに加え、仮想 In 点エリアと仮想 Out 点エリアの 2 つを定義する。仮想エリアとは、保護エリアと通常エリアとのリンクをブリッジする目的のエリアであり、データ領域に Area 実体を持たない仮想的なものである。仮想 In 点エリアと、仮想 Out 点エリアとは、それぞれ 1 つずつ定義される。そして、現在記録を行っているエリア (Now_ARE) と、次に記録するエリア (Next_ARE) とにそれぞれ接続する。そして、ある Area が保護エリアとなった場合、その Area を保護エリアリンクに移動させる。このとき、Area の日時情報を考慮して、時系列となる位置に

その Area を接続する。また、ある Area の保護が解除された場合、その Area のエリア番号を減算する方向で一番近い Area 番号が Now_ARE になった時点で、その保護を解除したエリアを Next_ARE としてアクティブリンクに接続する。

このエリア管理構造を持った独自ファイルシステムによって、記録ストリームの情報が細分化され、広域に分散記録されることを防ぐ。そして、このようなダブルエリアリンクを用いた空き Area の再配置戦略アルゴリズムにより、データの断片化を最小限に抑制する。

また、AST は、Area ごとの最大/最小日時と、BKT_ID ごとのデータ有無状態情報を格納している。本テーブルは、所望日時、および所望 BKT_ID のデータが格納されている Area を検索すること目的としたテーブル群である。この AST を利用することによって、膨大な記録ストリームから所望の時間帯の監視データを素早く特定することが可能となる。

5. 高速検索に関する性能評価

提案したデータ管理プラットフォームに関する検索性能を評価するために、従来手法との比較を実施した。本性能評価では、ユーザーが所望時刻のデータにランダムアクセスする場合に、指定時間に対応した再生位置を割り出すための処理負荷量について比較した。

なお、従来手法としては、ストリームの所定時間毎に検索開始位置であるエン트리ポイントを持つ。エン트리ポイントは検索位置の分解能を示しており、当該エン트리ポイントの先頭部分に、次エン트리ポイントのアドレスと再生時間を関連付けて記録する。このエン트리ポイントを順次アクセスすることで所望時刻の再生位置を割り出している。一方、提案手法では、Area にて指定時刻を粗く検索した後、Cubicle で検索位置の絞込みを行う。

従来手法による検索ステップ数 N_c は、エン트리ポイントを先頭から順次比較するため、検索位置であるエン트리ポイント番号 n で示される。一方、提案手法による検索ステップ数 N_p は、以下の算式で表される。

$$N_p = C(n) + F(n)$$

$C(n)$: n を 1Area の Cubicle 数で割った商

$F(n)$: n を 1Area の Cubicle 数で割った剰余

図 7 は、提案手法と従来手法との性能評価結果を示したものである。同図では、横軸を検索位置 (エン트리ポイント位置)、縦軸を検索ステップ数を示している。なお検索ステップ数が大きいほど、システム処理負荷が高く、映像検索に時間を要することを示している。

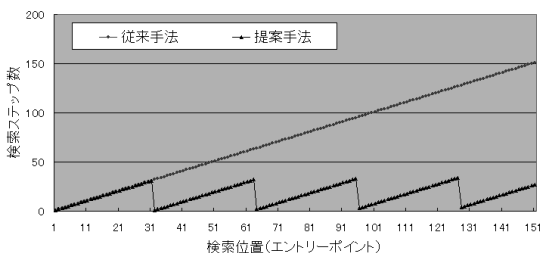


図 7 検索ステップ数評価結果

同図に示すとおり、従来手法ではエン트리位置に比例して検索ステップ数が増加するが、一方、提案手法では、

固定長で区切った Area 情報から指定時刻位置を粗検索した後、Cubicle 情報により検索位置の決定を行っている。そのため、検索ステップ数の増加率は、従来手法と比較して、Area 分割数に応じて低減させることが可能となる。また検索ステップ数が、検索位置 (エン트리ポイント位置) に大きく影響されず、所定の範囲で平準化できる利点もある。

組み込み Linux を用いた評価基板により、検索速度の比較を行った。評価基板の CPU はルネサステクノロジ社製 SH-4A (7763) で 266MHz の CPU クロックで動作させている。約 5T バイトの HDD を想定し、Area サイズを 64MB、Cubicle サイズを 2MB として、最終 Cubicle に所望日時のデータが格納されているものとして実験を行った。結果を表 1 に示す。CPU 占有率 100% の欄が計測結果であり、5 回計測の平均値である。実際の監視用レコーダーでは、検索と同時に記録や再生といった各種タスクが動いていることを考慮し、検索に関する CPU の占有率を 50% と 30% に仮定した場合の値に換算した値も併記している。CPU 占有を 30% とした場合、この結果が示すように、従来手法では、2.0 秒の検索処理が、提案手法では約 74% 短縮されて 0.5 秒となっている。このように、大容量の HDD を用いた場合でも十分高速に検索することができ、実用的な性能に達していることが確認された。

表 1 検索速度比較結果

CPU 占有率	従来手法[s]	提案手法[s]	差分[s]
100%	0.608	0.158	-0.450
50%	1.215	0.315	-0.900
30%	2.025	0.525	-1.500

6. まとめ

本稿では、開発した監視用レコーダー向けのデータ管理プラットフォームについて述べた。本プラットフォームでは、独自開発したファイルシステムにより、固定長 Area によるデータ管理とリンクテーブルを用いたデータの再配置戦略を行うことで、長期間の運用におけるデータ断片化の抑制を図った。また、監視用レコーダーで扱われる多様なデータを統一的なパケット構造で扱うことで、将来の多様な記録データの容易なハンドリングを実現した。今後も、より多くの情報をユーザーに使いやすい形で提供可能な監視用レコーダーの技術開発をめざす。

参考文献

- [1] 社団法人 全国銀行協会 URL : <http://www.zenginkyo.or.jp/service/statute/protect/>
- [2] 野水泰之, “JPEG2000 最新動向”, 画像電子学会誌 Vol. 30, No. 2 (2001)
- [3] ISO/IEC 14496-10:2004, Advanced Video Coding (Second edition), March, 2004
- [4] 西村達夫ほか, “ATM 向け映像監視・保管システム”, 三菱電機技報 Vol. 81, No. 7, (2007)
- [5] 古山浩志ほか, “音声認識とメタデータを利用した映像検索システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 99, No. 183, PP67-72 (1999)
- [6] Michale J. F., Bill Zoelick, “File Structures”, Second Edition (1998).