

AV用ハードディスクにおけるタイムアウト制御方式の一検討

LC-5

A Proposal of timeout protocol for AV hard disk drive

道明 誠一 金井 雄一

Seiichi Domyo Yuichi Kanai

1. まえがき

テレビ放送のデジタル化にともなって、磁気ディスク装置(HDD)を内蔵するAV機器が増えている。HDDは、VTRにくらべてランダムアクセス性能に優れており、番組を録画しながら同時に再生できるデバイスとして、新しい視聴形態を提供できる¹⁾。

AV用HDDは、周期的なコマンド発行にあわせて、映像や音声などの連続データを転送する。他方、非周期的なリードエラーあるいはライトエラー時に、ディスク上の同じブロックについて再度アクセスする、リトライ処理がある。

リトライ処理は、エラーを修復する有効な処理であるが、無制限な繰返しにより、データ転送が遅れる危険がある²⁾。最悪時に、ホストのメモリ管理が破綻し、映像再生の乱れや記録データの欠落などの障害を引き起こす。

この課題に関し、Bulikは、ホストがコマンド処理の応答期限(deadline)を通知し、その期限を越えた場合に、デバイスが該当処理を強制終了する、タイムアウト制御方式について述べた³⁾。Colegroveは、コマンド処理のかわりにリトライ処理の応答期限を通知する別案を示した⁴⁾。これらの方式を用いると、期限に応じて、デバイス(HDD)が、リトライ処理を実行しない、あるいは試行回数を制限できる。しかし、2.で述べるように、ビデオ操作に応じてコマンドの発行間隔が狭まり、リトライ処理を実行できる時間が短くなる、という問題は未解決のままである。

本研究は、AV特有のアクセスパターンを踏まえて、リトライ処理の実行時間を確保する方式を提案する。提案方式は、ランダムに発生するリトライ処理に備えて、

(1)次コマンド発行までの猶予時間(slack time)を予約

(2)先読み処理(read ahead)による空き時間を(1)に追加する手順を含む。リトライ処理は、手順(1)により、BulikやColegroveの方式と同様に、周期的なコマンド発行を妨げずに、ディスクにアクセスできる。さらに、手順(2)により、応答期限を越えて実行しないという制約条件のもとで、最大の実行時間およびアクセス時間を確保できる。

2. 期限つきコマンド処理方式

2.1 ディスクアクセスのモデル化

単一のHDDを内蔵するビデオレコーダやセットトップボックスについて、ディスクアクセスのモデルを構築する。これらのデバイスは、テレビ放送を録画再生するために、以下の手順をそなえる。

- (1)ディスクの連続領域に録画用データを書込む
- (2)ディスクの別領域から再生用データを読み出す
- (3)ホストの要求にしたがって(1)(2)を交互に繰返す

このようなAV特有のコマンド処理について、ディスクアクセスの計画の形式で示す(図1)。ここで、↑は、コマンド*i*における期限であり、次のコマンド*i+1*要求の到着である。↑と↑との間に、コマンド処理を実行する。デバイスは、ディスクにアクセスし、ホストとの間でデータを転送する。また、エラー発生時にリトライ処理を実行する。

† 日立製作所システム開発研究所

‡ 三洋電機デジタルシステム研究所

とくに、↑を越えた場合に、該当コマンド処理ならびにエラー処理を強制終了する。

コマンド処理の要求のあつまりをストリームとよぶ。図1では、(a)はストリーム数*n*=1、(b)は*n*=2のモデルを構築した。ストリーム数*n*が増加すると、つぎのコマンド要求の到着までの間隔が短くなり、コマンドあたりの残余時間が著しく縮小する(その詳細は付録で述べる)。

以下の説明では、コマンド処理の応答期限を t_d とする。アクセス時間には二種類あり、ホストが観測できる実行時間を t_a 、デバイスによる予測時間を t_c とする。 t_a や t_c は、ディスクにアクセスする期間の他に、コマンド処理の要求を受けてから実際にアクセスする待ち時間(B)や、ホスト・デバイス間のデータ転送時間($A \cdot x$; A は転送速度、 x は転送サイズ)が含まれる。なお、 t_c は、最悪条件下での t_a を予測する³⁾。

2.2 従来方式の問題点

従来方式のリトライ処理には、(a)ストリーム数の増加に応じて、十分な実行時間を確保するのが難しい、(b)エラー発生以前に試行回数を決定するのが困難で、ディスク制御にとって好ましいとはいえない、という問題がある。

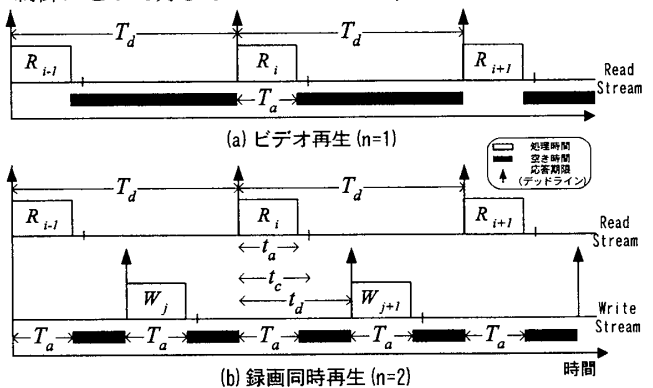


図1. ディスクアクセスの計画

図1において、リトライ処理を、コマンド処理の残余時間($t_d - t_a$)に割り当てる。このとき、リトライ処理の試行回数*r*(平均値)は、 $r = (t_d - t_a) / T_r \rightarrow (T_d / n - T_a) / T_r$ と表される。ただし、 T_d と T_a は、それぞれ t_d と t_a の平均値、 T_r は回転待ち時間である。たとえば、 T_d が二・三百ミリ秒、 T_a が百ミリ秒、 T_r が十ミリ秒という典型的なHDDでは、 r は最大二・三十回という制約があり、とくに、 $n=2, 3$ の場合、 r は数回程度に縮小する。また、コマンドの発行頻度やディスクアクセスのパターンにしたがって、 t_a はばらつきが発生するので、個々の*r*は変動する。

3. 提案方式

2.2で述べた、リトライ処理に関する問題の解決手段として、(a)先読み処理により空き時間を補給する手順(3.1)や、(b)猶予時間を通知し、試行回数を事前決定するプロトコル(3.2)を提案する。

3.1 空き時間補給手順

先読み処理は、コマンド要求の到着前に該当ブロックをデバイス内部のメモリに読込む処理であり、キャッシュヒットによりデータ転送性能の向上を図る。シーケンシャルアクセスを基本とする図1の手順では、とくに有効である。

録画同時再生(n=2)に関し、先読み処理を利用する場合のディスクアクセスの計画例を示す。図2において、利用する(b)のR_i'は、利用しない(a)にくらべて、猶予時間t_sについて、二倍の期間(R_{i-1}やW_jの空き時間)を補給できる。

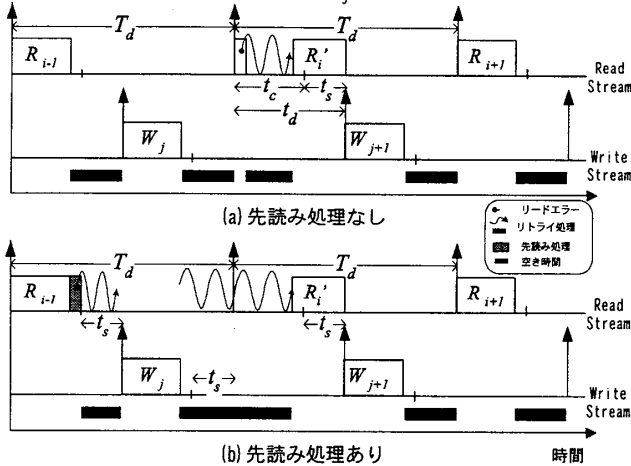


図2. 先読み処理を利用した計画例

3.2 猶予時間通知プロトコル

ホストがデバイスに対し、応答期限t_dを通知するかわりに、つぎのコマンド発行までの猶予時間t_s=t_d-t_cを通知する。これにより、ディスクの空き時間のうち、とくに、期間t_c~t_dについてデバイスによる自主的なエラー処理を許可する、というホストの運用方針がより明確になる。

提案は、従来とくらべて、デバイスが、t_s/T_r→rを計算し、リトライ処理を含めたディスクアクセスをコマンド実行前に計画できる点で優れている。また、偏った期限設定(t_d≪t_c等)によるデバイスの誤動作を防止する効果もある。

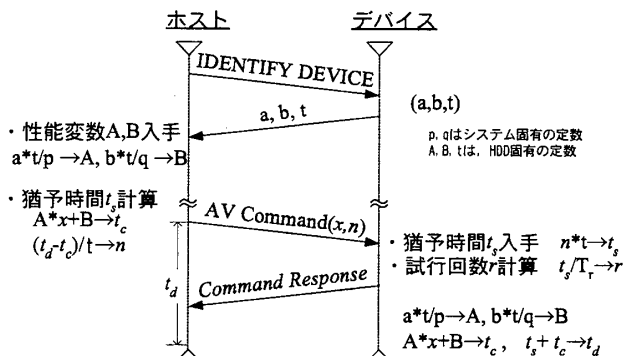


図3. 猶予時間通知プロトコル

4. 評価

4.1 性能評価

HDDの典型的な仕様(A=14.0MB/s, B=38ms, T_r=14ms)をもとに、デジタル放送(23.2Mbps; T_d=345ms)を録画再生する場合(n=1,2)を試算した(図4)。なお、x=1MBとし、固定長とする。n=2の場合のrに関し、従来(低下率76%)に対し、提案方式(同25%)が優れていることを確認した。このよう

に、T_dが二・三百ミリ秒であり、t_dやt_cについてミリ秒単位の精度を要求する場合に、実用的である。

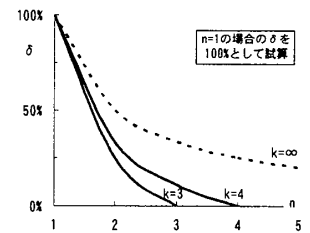
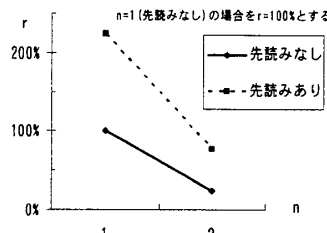


図4. リトライ処理の試行回数 r 図5. 残余時間の縮小率 δ

4.2 機能評価

3.2で述べたように、残余時間t_d-t_aのかわりに猶予時間t_sを用いて、rを計算する。空き時間の全てをリトライ処理に利用できないので、rが減少する恐れがある。しかし、(t_c-t_a) < T_r ≪ T_dという実用的なHDDでは、rは、コマンドあたり高々1回減少するの過ぎない。t_sを使う点に関し、とくに問題は生じないと考える。

5. 結び

周期的なコマンド発行を乱さず、非周期的なリトライ処理を実行する、HDDのタイムアウト制御方式を検討した。とくに、先読み処理の実施を前提として、リードエラー時のリトライ処理において、ディスクアクセスの最長時間を予約する、制御方式を提案した。

本提案は、先読み処理のかわりに遅延書込み処理(write cache)を用いることで、ライトエラー時のリトライ処理にも拡張できる。ただし、その際に、リトライ処理がコマンド処理の期限を越えない、というリアルタイムシステムとしての要件は守れない。また、デバイスの要件として、読み出し優先や書込み保証が望まれるので、実装上は、リードバッファやキャッシュメモリの大容量化が必須となる。

付録 コマンド処理の残余時間に関する考察

2.1のモデルを用いて、コマンド時間の残余時間について、ストリーム数nの変化(n=2,3,...)における縮小率δを試算する。なお、定常状態では、T_d(t_dの平均値)やT_a(t_aの平均値)は一定値をとるものとする。nストリームの残余時間は、T_d/n-T_aである。また、多番組録画(たとえばn=3)を実現するのに、T_dはT_aのk倍(k≧n)の期間は必要であり、T_d = k · T_aと表す。以上をまとめると、nストリームでの縮小率δ(n)は、つぎの式で求められる(図5)。

$$\delta(n) = (T_d/n - T_a) / (T_d - T_a) = 1/n - (1-1/n) \cdot 1/(k-1)$$

参考文献

- 1) 大野, 千葉: ハードディスク内蔵型放送受信機の開発, 信学技報 Vol.101 No.643, MR2001-106(2002)
- 2) 清水: ハードディスク記憶システム, 映像情報メディア学会誌 Vol.55 No.6, pp.795-799(2001)
- 3) Bulik: Proposal for Audio Visual feature set(T13/D99128R10), T13WG(2001) http://www.t13.org
- 4) Sato, Kibashi, Asano, Colegrove: Proposal for a Multiple AV Stream Feature Set(T13/D99137R0), T13WG(1999) http://www.t13.org