

# 浮動アドレス型光ディスクライブラリ装置の 最適アクセス性能の推定法

日大生産工(院)	○西澤 智
日大生産工(院)	張 寧波
日大生産工	黒岩 孝
日大生産工	松原 三人
NTTアイティ	水上 誠

## 1. はじめに

最近、数十TB級の記憶容量を提供できる光ディスクライブラリ装置が開発されている<sup>[1]</sup>が、ディスク媒体の数が多い場合には、アクセスに膨大な時間を必要とするため、ディスク媒体をいくつかのグループに分けて格納する浮動アドレス型媒体管理方式が提案されている<sup>[2]</sup>。これまで、ディスク媒体の総数やグループ数、あるいはブロックサイズやアクセス頻度によって、総平均移動距離の最小値が変わることを明らかにしているが<sup>[3]</sup>、その最小値を求めるためには、莫大な計算時間を要する。一方、総平均移動距離の最小値を短時間で近似的に求める方法については既に報告している<sup>[4], [5]</sup>が、その推定精度を改善するため、本報告では最急降下法を用いる手法を提案し、その有効性を検討する。

## 2. 光ディスクライブラリ装置の構成

図1に、本研究で用いる光ディスクライブラリ装置の概略図を示す。本装置はディスク媒体を収納する倉庫部、再生を行うドライブ部、ディスク媒体の搬送を行うハンド部から構成されている。ここでは、グループの総数を $N$ とし、 $N$ 番目のグループ名を $G_N$ とする。ドライブ部に最も近いグループから $G_1, G_2, G_3, \dots, G_N$ とする。また、グループ $G_n$

からドライブ部に向かって、 $y$  ( $y=1, 2, \dots$ ) だけ前のグループを $G_{n-y}$ とする。倉庫部の各グループにはそれぞれディスク1枚分の空きエリア(図中の斜線部分)が設けてある。ドライブ部はディスク媒体を一時的に格納しておくノンアクティブドライブと再生を行うアクティブドライブから成る。またドライブ間の距離は0とし、ドライブ部から倉庫部への最大アクセス距離を $L$ とする。尚、同図中の細い線はハンドのみの動きを表し、太い線はディスクを把持したハンドの動きを表す。

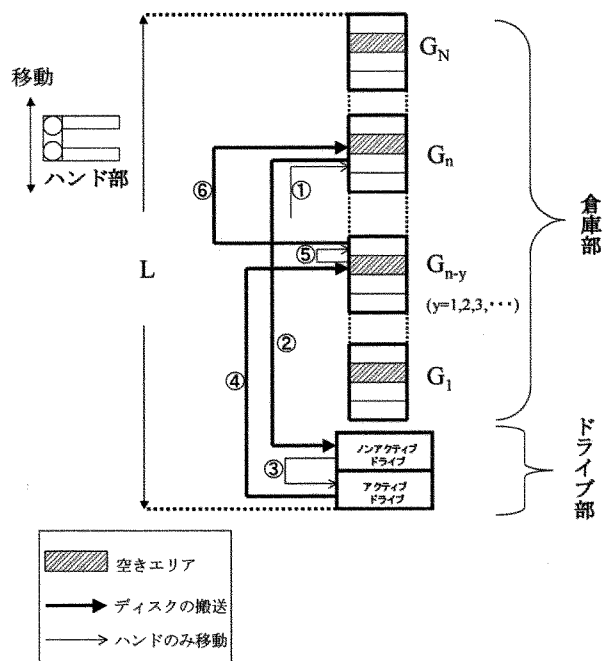


図1 光ディスクライブラリ装置の概略図

Estimation of the optimum access performance in optical disk library

Tomo NISHIZAWA, Ningbo ZHANG, Takashi KUROIWA, Mitsuhiro MATSUBARA  
and Makoto MIZUKAMI

### 3. 並び替えアルゴリズム

ここでは、本研究で用いている並び替えアルゴリズムを以下に示す。

- ①ハンド部を任意の待機位置から所望のディスク媒体まで移動する。
- ②所望のディスク媒体を把持してノンアクティブドライブまで搬送し、格納する。
- ③ハンド部をノンアクティブドライブからアクティブドライブへ移動する。
- ④再生の終了したディスク媒体は、所望のディスク媒体が格納されていたグループ $G_n$ から $y$ だけ前のグループ $G_{n-y}$ の空きエリアに搬送し格納する。  
ただし、 $n \leq y$ の場合は再び $G_n$ に戻す。  
一方、 $n \geq y$ の場合の並び替えについて以下に示す。
- ⑤ハンド部を、グループ $G_{n-y}$ の中で最もアクセス頻度の低いディスク媒体が格納されているところまで移動する。
- ⑥そのディスク媒体を所望のディスク媒体が格納されていたグループ $G_n$ 内の空きエリアに搬送し、格納する。

上述の①～④までを本アクセスと呼び、⑤、⑥を並び替えアクセスと呼ぶ。また、並び替え終了後、ハンド部は次のディスク媒体をアクセスするまで、そのままの位置で待機する。

### 4. 解析法

本研究では、装置のアクセス性能をハンド部の総平均移動距離で評価することにする。全ディスク媒体のアクセス頻度は、次式の幾何分布に従うとする。

$$A_i = \begin{cases} \sum_{m=1}^{n_i} P(1-P)^{m-1} & (i=1) \\ \sum_{m=\varphi(i)}^{\varphi(i)} P(1-P)^{m-1} \left( \varphi(i) \equiv \sum_{v=1}^i n_v, i=2,3,4,\dots,N \right) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

ただし $P$ は母数で、 $0 \leq P \leq 1$ なる値である。また、各グループのアクセス頻度を $A_i (i=1,2,3,\dots,N)$ とする。 $n_i (i=1,2,3,\dots,N)$ は各グループ $G_i (i=1,2,3,\dots,N)$ におけるブロックサイズを表す。ここで本アクセス時のハンドの平均移動距離 $X_m$ は次式となる<sup>[4]</sup>。

$$X_m = \frac{L}{M} \sum_{s=2}^N \left[ \sum_{t=s}^N \left\{ \sum_{k=1}^{n_{t-1}} \frac{A_{s-1} A_t}{n_{s-1}} \left( \sum_{v=s-1}^t n_v - k \right) \right\} \right. \\ \left. + \frac{L}{M} \sum_{t=s}^N \left[ \sum_{k=1}^{n_{t-1}} \frac{A_{s-1} A_t}{n_{s-1}} \left( \sum_{v=s-1}^{t-1} n_v - j \right) \right] \right] \\ + \frac{L}{2M} \left[ \frac{2}{3} \sum_{r=1}^N A_r^2 (n_r + 1) + \sum_{r=1}^N A_r \left\{ \left( 2 \sum_{k=1}^r n_k \right) - n_r + 1 \right\} \right] \\ + \frac{L}{2M} \left[ \sum_{r=1}^y A_r \left\{ \left( 2 \sum_{k=1}^y n_k \right) - n_r + 1 \right\} \right. \\ \left. + \sum_{r=1}^{N-y} A_{r+y} \left\{ \left( 2 \sum_{k=1}^r n_k \right) - n_r + 1 \right\} \right] \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $M$ はディスク媒体の総数で、 $M=n_1+n_2+\dots+n_N$ である。同様に、並び替えアクセス時のハンドの平均移動距離 $X_r$ は次式となる。

$$X_r = \sum_{i=1}^{N-y} \left[ \frac{A_{i+y} L}{2M n_i} \left\{ \sum_{k=1}^{n_i} \left( n_i + \sum_{v=1}^y (n_{i+v}) - k \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{j=0}^{n_i} \left( n_i + \sum_{v=1}^{y-1} (n_{i+v}) - j \right) \right\} \right. \\ \left. + \frac{A_{i+y} L}{3M} (n_i + 1) \right] \dots\dots\dots (3)$$

よって、ハンド部の総平均移動距離 $D$ は $D=X_m+X_r$ となる。この時、 $M, N, y, P$ を与え、ブロックサイズ $n_i$ をいろいろ変えて総平均移動距離 $D$ を計算すると、その最小値 $D_{min}$ を求めることができる。このときのブロックサイズを最適ブロックサイズと呼び、 $n_i^*$ で表す。しかしながら、 $D_{min}$ を求めるためには莫大な計算時間を要する。

上式を用いた場合、ブロックサイズ  $n_i$  に対して  $D$  は極小値を持つ<sup>[5]</sup>ため、最急降下法を用いることによって、総平均移動距離が最小となる、最適ブロックサイズを推定できると考えられる。以下、グループ数が  $N=3$  の場合について、最急降下法により最適ブロックサイズを求める具体的な手順を述べる。先ず、ブロックサイズ  $n_1, n_2, n_3$  をそれぞれ  $n_1, n_2, M-(n_1+n_2)$  と表し、 $D$  の式を 2 変数 (ブロックサイズ  $n_1, n_2$ ) として傾きを求める。ただし、傾きを求める際は、最初に  $n_1$  における  $D$  の傾きを計算した後、 $n_2$  の場合を計算する。ここで最適ブロックサイズ  $n_i^* (i=1,2)$  の推定値を  $\hat{n}_i[k] (k=0,1,2,\dots)$  で表し、以下の手順で  $\hat{n}_i[k]$  を  $n_i^*$  に近づける。

- ①  $\hat{n}_i[k]$  における総平均移動距離  $D$  の傾き  $\partial D / \partial \hat{n}_i[k]$  が最も降下する方向  $g_i[k]$  を、 $g_i[k] = -\partial D / \partial \hat{n}_i[k]$  より求める。
- ②  $\hat{n}_i[k]$  と  $g_i[k]$  より、次の推定値  $\hat{n}_i[k+1]$  を次式より求める。  

$$\hat{n}_i[k+1] = \hat{n}_i[k] + \alpha_i[k] g_i[k] \quad \dots\dots (4)$$
ただし、 $\alpha_i[k]$  は推定値  $\hat{n}_i[k+1]$  を探索する区間を表す。 $\alpha_i[k]$  は  $\hat{n}_i[k]$  の探索が進むにつれて減少するよう、1次元探索法のアルゴリズム<sup>[6]</sup>を用いて決める。 $\alpha_i[k]$  の初期値を  $\alpha_i[0] = \zeta_i M$  より求める (ただし  $\zeta_i > 0$  とする)。  
ここで、文献[5]の場合、 $\zeta_i$  は母数  $P$  によって値が異なるため、 $P$  が変わる度に、 $\zeta_i$  の再計算が必要となる。本研究では、時間の短縮化及び推定精度の向上のため、この点の改善を行った。即ち、
- ③  $\zeta_i$  を次式のような多項式で近似する。

$$\zeta_i = \sum_{q=0}^U \beta_q P^q \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで  $\beta_U = 1$  とし、 $\beta_q (q=0,1,\dots,U-1)$  は最小自乗法より求める。

- ④  $\varepsilon$  を十分小さな値とし、 $|g_i[k]| < \varepsilon$  であれば  $\hat{n}_i[k]$  を  $n_i^*$  の推定値とする。ただし、最適ブロックサイズ  $n_i^*$  は整数で表わされるため、求めた  $\hat{n}_i[k+1]$  の値を四捨五入し、推定値とする。一方、収束しない場合は得られた推定値  $\hat{n}_i[k+1]$  を  $\hat{n}_i[k]$  として、上記①～③を繰り返す。
- ⑤ 得られた最適ブロックサイズを用いて総平均移動距離  $D_{min}$  を求める。

## 5. 結果

図2は、グループ数  $N=3$ 、母数  $P=0.3$  の場合について、 $M=200, 400, 600$  とした場合の初期値  $\alpha_1[0]$  及び  $\alpha_2[0]$  を示す。次に、その傾き  $\zeta_1 = 1.02 \times 10$  及び  $\zeta_2 = 8.07 \times 10^3$  を使い、 $M \geq 800$  の場合について、 $\alpha_i[0] = \zeta_i M (i=1,2)$  として最適ブロックサイズ  $n_i^*$  及び  $n_2^*$  を推定した結果を表1に示す。この場合、真値とよく一致することが分かる。一方、この  $\zeta_1$  及び  $\zeta_2$  を用いて、母数  $P=0.5$  の場合の最適ブロックサイズを推定した結果を表2に示す。この場合は、真値と一致しないことがわかる。

図3は、式(5)を用いて求めた  $\zeta_i$  と  $P$  との関係を示す。ただし  $U=6$  とし、近似した場合である。同図より、 $P=0.5$  の場合の傾き  $\zeta_1 = 1.12 \times 10$  及び  $\zeta_2 = 1.49 \times 10^4$  を求め、最適ブロックサイズを求めた結果を表3に示す。真値と良く一致していることがわかる。

図4は、表3に示した最適ブロックサイズを用いて、 $D_{min}$  を推定した結果である。真値と良い一致が見られることがわかる。

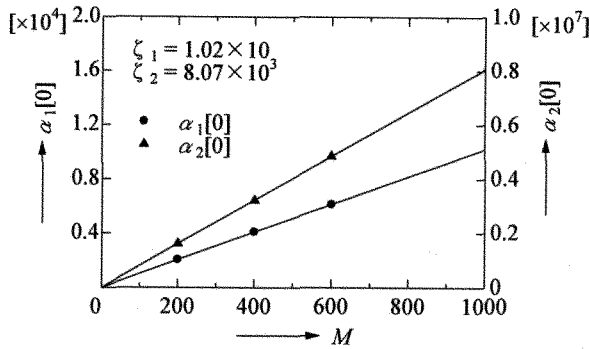


図2 ディスク媒体の総数 $M$ と $\alpha_1[0]$ ,  $\alpha_2[0]$ の関係( $N=3, y=1, P=0.3$ の場合)

表1 最適ブロックサイズの推定結果  
( $N=3, y=1, P=0.3$ の場合)

$M$	真値		推定値	
	$n^*_1$	$n^*_2$	$n_1[k]$	$n_2[k]$
800	7	16	7	16
1000	7	17	7	17
1200	7	17	7	17
1400	7	18	7	18

表2 最適ブロックサイズの推定結果  
( $N=3, y=1, P=0.5$ の場合)

$M$	真値		推定値	
	$n^*_1$	$n^*_2$	$n_1[k]$	$n_2[k]$
800	4	9	6	9
1000	4	9	6	9
1200	4	10	6	9
1400	4	10	6	9

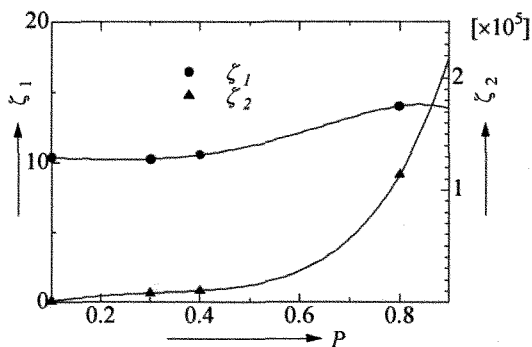


図3 母数 $P$ と傾き $\zeta_i$ の関係( $N=3, y=1$ の場合)

表3 最適ブロックサイズの推定結果  
( $N=3, y=1, P=0.5$ の場合)

$M$	真値		推定値	
	$n^*_1$	$n^*_2$	$n_1[k]$	$n_2[k]$
800	4	9	4	9
1000	4	9	4	9
1200	4	10	4	10
1400	4	10	4	10

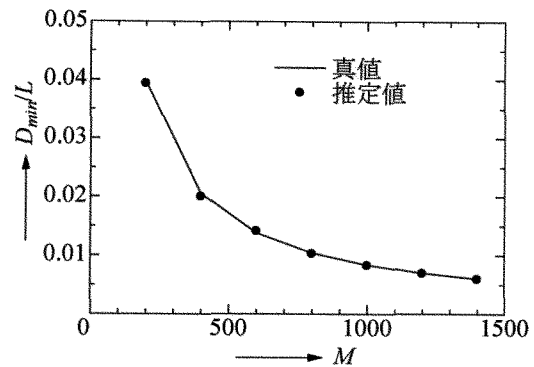


図4  $D_{min}$ の推定結果( $N=3, y=1, P=0.5$ の場合)

## 6. まとめ

光ディスクライブラリ装置における総平均移動距離の最小値 $D_{min}$ を近似的に求める方法として、最急降下法を用いる方法について検討したところ、探索する区間の初期値を適切に決める方法を開発することによって、 $D_{min}$ を精度良く推定できる可能性のあることがわかった。

## 参考文献

- [1] 右田, 池田: "スーパーサーバーNX7000シリーズの概要", NEC技報, Vol.50, No.8, pp. 3-14 (1997)
- [2] 水上, 岩津, 井沢: "浮動アドレス型ライブラリに適した複数ドライブモードの設定", 1995年電子情報通信学会総合大会, D-172, p.180 (1995)
- [3] 黒岩, 畑, 山崎, 松原, 水上: "浮動アドレス型ライブラリにおけるアクセス性能に関する検討", 2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-6-7, p.121 (2002)
- [4] 黒岩, 永井, 山崎, 松原, 水上: "浮動アドレス型光ディスクライブラリ装置のアクセス性能について(II)", 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-6-11, p. 130 (2003)
- [5] 高野, 黒岩, 松原, 水上: "浮動アドレス型光ディスクライブラリ装置のアクセス性能(III) -最急降下法による最適ブロックサイズの推定-", 第38回日本大学生産工学部学術講演会, 2-17, pp. 107-110 (2005)
- [6] 町田, 小島: "FORTRAN応用数値計算", 東海大学出版会 (1989)