

光ディスクライブラリ向け UDF 互換の誤り訂正機構の開発 Development of the Error Correcting Process that is Compatible with UDF for Optical Disc Libraries

小林 正幸†
Masayuki Kobayashi

1. はじめに

ビックデータ時代の到来により、企業や組織が保有するデータ量が増加し、データストレージの需要が高まっている。またデータの利活用の幅が広がり、データストレージに対する顧客要件が多様化している。

その中でも法令により保管が義務付けられたデータや重要データの長期保管は重要な要件の一つである。一般的な HDD やテープストレージは、媒体の寿命が 5~10 年程度と短く、数年毎に新しい媒体へのデータマイグレーションを必要とし、データの維持コストを押し上げている。また、企業の事業継続計画(BCP)において、データストレージのディザスタリカバリは中核を成す項目であり、データストレージシステムの耐災害性能の確保は必須要素である。

弊社では、災害に対する耐性があり、長期保管に適した光ディスクの業務用ストレージへの応用に着目し、光ディスクライブラリを開発している。

我々が開発している光ディスクライブラリでは、データ信頼性の強化のため誤り訂正機構 RRC (Redundant Recovery Code) を搭載した。本報告では、長期保管を目的とする RRC の開発内容を紹介する。

2. 研究課題

2.1 エラーレートの改善

Blu-ray Disc™は、誤り訂正機構 LDPC により、記録直後のシンボルエラーレートは 10^{-20} に達する。しかし、加速試験の結果から、経年劣化が原因で 50 年後のシンボルエラーレートは最大で 10^{-12} まで悪化する恐れがあることが確認された。

我々は、前記光ディスクライブラリを、複数の光ディスクを束ね PB 級 (10^{15}) のストレージのシステムにした時に、 6σ (10^6) 程度の不良率となるように、50 年後のシンボルエラーレートを 10^{-21} 以下に収めることを目標にした。

2.2 UDF 互換

また、本研究では、水没による災害からの復旧方法も考慮し、万が一の場合は光ライブラリからディスク単体を取り出し、そこからのデータ救出を想定した。一般のパソコンに搭載された光ディスクドライブを使って、データ復旧を可能とするためには、主要オペレーティングシステムが読込をサポートするファイルシステム Universal Disk Format (UDF) を採用することが必要である。

本研究では、UDF によるディスク互換性を維持した RRC の追加方法を検討した。

3. 検討結果

3.1 RRC の訂正方式

RRC の処理は、装置コストの上昇を避けるため、処理負荷が低くソフトウェア処理可能なものである必要がある。そこで誤り位置検出は別手段が必要となるが、処理負荷が低い XOR 演算でパリティ生成をすることとした。

誤り位置検出には、前記 LDPC と Blu-ray Disc™フォーマットの誤り検出コード EDC の訂正可否判定を利用し、LDPC のデータクラスタ単位での誤り位置検出を可能とした。LDPC と EDC で誤り訂正不能となった場合のみ、RRC による誤り訂正が必要となるので、データ再生時の処理負荷軽減も可能となった。(図 1)

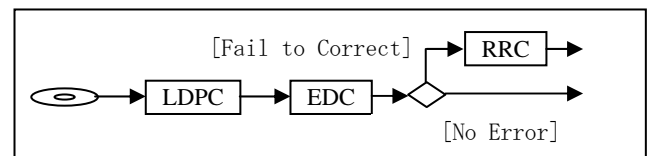


図1 データ再生フロー

3.2 RRC の配置

前記 LDPC は、LDPC のデータクラスタ内でスクランブルとインタリーブを行っているが、円周方向 9mm 以上の誤り訂正は出来ない。(図 2)

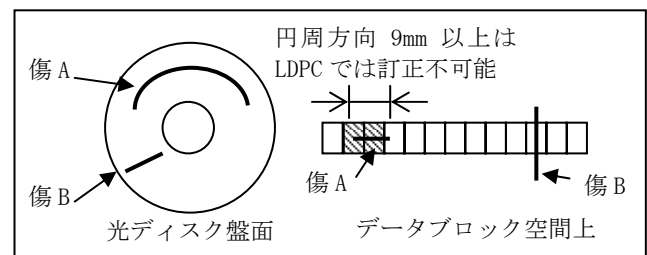


図2 LDPC のバーストエラー耐性

長期保管では、最大で数十トラックに渡る埃の集積が原因の傷が懸念される。そこで、RRC のデータ配置は、パリティ生成の際に、外周で 100 トラックに相当する、32MB 間隔のインタリーブを取ることで、バーストエラー耐性を強化した。(図 3)

光ディスクへのデータは、一回の記録でユーザデータと組となるパリティ式の記録が必要であるので、以下の関係がある。

† (株)日立製作所 横浜研究所, Yokohama Research Laboratory, Hitachi, Co., Ltd.

$$\frac{\text{パリティ容量}}{\text{ユーザデータ容量}} = \frac{\text{インタリーブ長}}{\text{追記単位容量}}$$

本研究では追記単位は 1GB が適当であるとして、ユーザデータに対するパリティ容量を 3%とした。

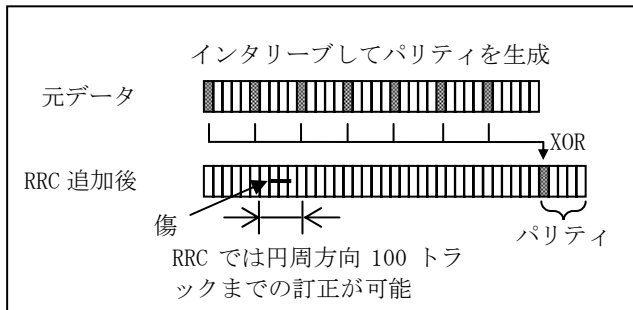


図 3 RRC のデータ配置

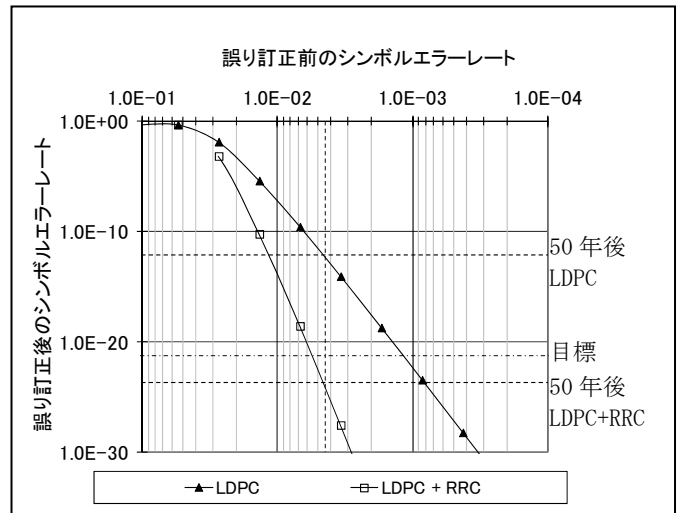


図 5 エラーレートの評価結果

3.3 UDF 互換の RRC の追加

RRC は、ユーザデータのブロック空間上に一定間隔でパリティを配置する領域を設ける必要がある。一方で UDF 管理領域は規格に則ったデータ配置が必要であるため、パリティ領域の割り当てが難しく、RRC によるデータ保護が出来ない。そのため、管理領域は UDF 2.50 で追加されたミラーリング機能により保護し、RRC による保護対象を、ユーザデータ空間に限定した。その上で UDF のボリューム作成時にユーザデータ空間のセクタ管理のビットマップに、予めパリティ領域をリザーブする機能を実装して、UDF 互換の RRC の追加を実現した。(図 4)

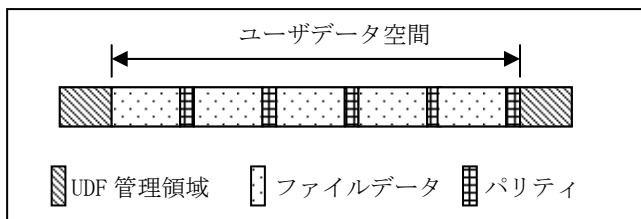


図 4 ディスク内のデータ構造

3.4 エラーレートの評価

RRC によるエラーレート改善効果を、エラーレートを評価して確認した。誤り訂正前のシンボルエラーレートは、光ディスクの記録時のレーザ強度揺らぎや、再生時の電氣的ノイズによる誤り確率である。評価では、前記誤り確率より、誤り訂正モデルに基づき、誤り訂正後のシンボルエラーレートを数値計算により求めた。

評価結果を図 5 に示す。横軸は誤り訂正前のシンボルエラーレートで、縦軸は誤り訂正後のシンボルエラーレートである。一点鎖線は目標の、破線は評価結果の 50 年後のシンボルエラーレートを示す。LDPC のみの構成の、50 年経過後のシンボルエラーレートを 10^{-12} とした場合、LDPC に RRC を追加することで、目標の 10^{-21} を満足する 10^{-23} ままで改善されることが確認された。

4. おわりに

本研究では光ディスクライブラリ向けの誤り訂正機構 RRC の設計と評価を行った。

Blu-ray DiscTMフォーマットの誤り訂正機構により誤り位置検出を行うことで、処理負荷の低い XOR パリティを採用し、新たなハードウェアの追加を不要とした。

RRC の配置では 32MB 間隔のインタリーブを取ることで 100 トラックまでの訂正が可能とした。

また主要なオペレーティングシステムで読み込みをサポートする UDF 互換の RRC 追加方法を、ボリューム作成時にパリティ領域をリザーブする機能により実現し、万が一のデータ復旧の際に標準的なパソコンでの読み込みを可能とした。

そして、設計した RRC の効果をエラーレートの評価を行い、目標を満足するシンボルエラーレート 10^{-23} を達成することを確認した。

また、RRC は実機への実装を行い、数十トラックを欠損させた Blu-ray DiscTMでの訂正動作と、通常パソコンでの読み込みが可能であることを確認した。

以上の通り、Blu-ray DiscTMに準拠したディスクとドライブを用いた低コスト対応の光ディスクライブラリの、データ信頼性強化のための誤り訂正機構 RRC の開発を行った。