

ホログラムによる高速光情報処理

渡邊恵理子，小舘香椎子

1. はじめに

平成 19 年度版情報通信白書によれば，平成 18 年のブロードバンド回線の契約数は，2,644 万契約に達している。また FTTH 契約数は前年比 61.3 %増の 880 万契約と大きな伸びを示しており，FTTH の利用が急速に拡大している。またホームビデオ，デジカメ，DVD，Blu-ray Disc を用いたさまざまなマルチメディアコンテンツが，ビジネスから個人使用まで大量に流通し，氾濫している。このような情報爆発の時代[1]を迎え，大容量のデータからの情報検索技術の重要性が高まってきている。現在主流のメタデータにおけるテキスト検索の高度化・高付加価値化だけでなく，画像データの内容や映像シーンの解析を可能とする画像・動画解析システムの開発も盛んに行われている[2-4]。しかし映像を対象にした検索や内容解析ではデータ容量が膨大であるため，外部ストレージからの転送速度が，検索処理速度のボトルネックとなることが多い。この課題に対し，データベースの最適クラスタリング処理を施すことや，HDD 上に類似クラスタを近接して配置する事で，転送速度をデータ構造上で高速化する研究が行なわれている[2]。

現状の製品として流通している各種データストレージの容量と転送速度の性能を [図 1](#)[3-6]に示す。ストレージデバイスの代表的なものとして，ハードディスクドライブ，光ディスク，磁気テープなどが挙げられる。特に 1 次ストレージの記録媒体である HDD の進展は著しく，記録容量が 1 TB 以上の製品も存在する。しかし，RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks)構成だとしても転送速度は速くて数 Gbps 程度である。一方転送速度の速いメモリとしてはコンピュータのメインメモリとして使われる DRAM 等があるが，メモリ容量は数 GB 程度である。次世代光ディスクのひとつの候補であるホログラムメモリは現状のメモリや，次世代メモリである bit by bit の記録方式とは根本的に異なり，演算機能を持つ唯一のメモリで，データの読み出しと，相関（内積）演算を同時に行うことが可能である。従って HDD や RAM と CPU により別々に処理していた情報処理の一部が数桁高速に行える。このような超高速光情報処理のビジョンを元に，[図 1](#) に示す高速かつ大容量を目指した超高速画像検索エンジン FARCO (Fast Recognition Optical Correlator) の研究開発が行われている[3-5]。例えば現状のコンピュータであれば，数 10 Gbps 以上のデータ転送速度と CPU による演算が必要である相関処理を，FARCO においては，相関値である光強度値をたかが数 Mbps で検出するだけでよい。本稿では，このような超高速相関処理が可能なホログラムによる光情報処理の最近の実験結果や今後の期待に関して述べる。

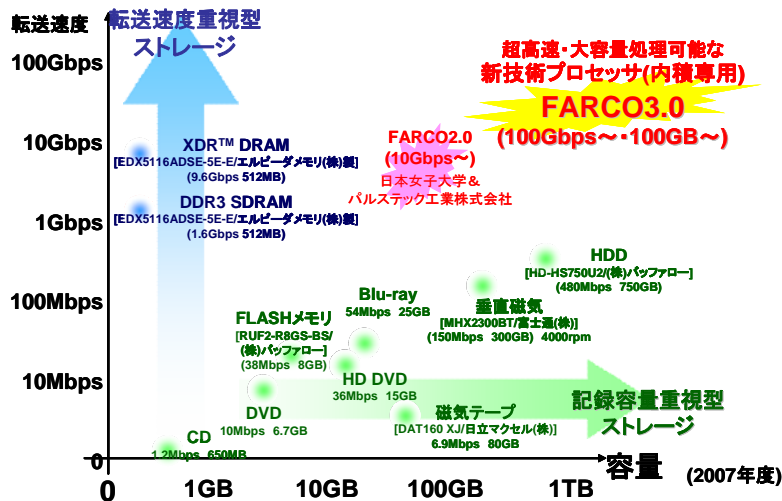


図1 現状のストレージデバイスの中での FARCO3.0 の位置づけ

2. 全光型超高速画像検索エンジン (FARCO)

2.1 光相関演算とホログラフィックメモリ

2次元画像を並列に処理することが可能な光相関演算の研究は1960年代から進められてきた[3,4]。日本女子大学小舘らは、高精度高速光相関アルゴリズム[5-7]におけるデータベースに、ホログラフィック光ディスク[5]を適用する事で光データに直接アクセスする次世代光相関システムを提案し、平成17年度からNEDOの助成を受けてパルステック工業株式会社と共同でFARCO 2.0を開発した[6]。開発済みのFARCO 1.0[7]に比べて更に1,000倍以上の超高速化が実現できる。これらのシステム実現のキー技術は、前・後処理も含めた高精度光相関アルゴリズムとそのシステム化技術、そしてホログラフィックメモリシステムである。現在ホログラムの記録再生方式は、ポリトピックとコアキシャルの主に2方式で研究開発が進められている[8,9]。2次元ページデータのホログラフィックな記録と再生を実用的に行うためには高いデータ密度記録へ向けた研究[10]、高出力のパルスレーザではなく記録・再生を行なう研究[11]、記録材料の収縮、温度変調などに伴う特性改善[12]、ページの符号化復号化のため高速信号処理技術開発[13]、ディスク量産技術[14]、などが課題であるため研究開発が行われている。しかしホログラムの相関演算処理部分に焦点をあて、データ照合システムとして実装する場合、上記課題の幾つかが回避できる。これらに関して次節で述べる。

2.2 ホログラフィックディスク型光相関演算

コアキシャルホログラム記録方式において、ホログラムの書き込み時に、情報画像の付近に点光源を近似して表示しこの画像を1つのレンズでフーリエ変換すると、書込まれる光情報データはマッチトフィルタホログラムとなる。光相関演算時には、同様の光学系に識別したい画像を表示すると、ホログラムから回折してきた光が相関信号となって表れる。このように、簡易な同軸光学系でマッチトフィルタホログラムの書き込みと光相関演算が実現できる。図2に光学系を示す。回転ディスク光相関光学系ではホログラフィックメモリと比較して2次元データの受光を必要としないため、基本的に一つの受光素子でよい。このように、相関演算では微小な一点の光強度のみを得られれば良いため低出力の連続発振レーザを利用できる。また出力された信号のみを利用すればよいので、復号化をする必要がない。

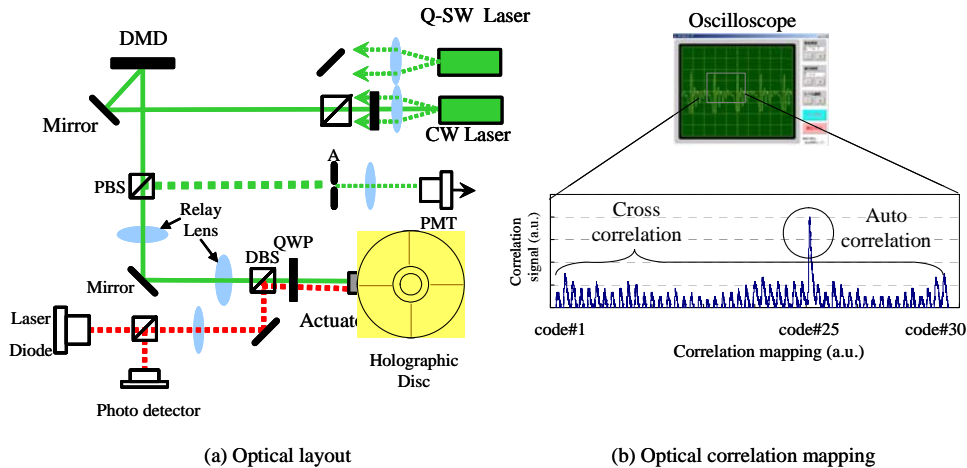


図2 ホログラフィックディスク型光相関演算用光学系

記録時は記録ディスクを回転させたまま高速記録を行なうために QSW レーザを利用する。一方相関演算時は小さな一点の光強度を受光できればよいため CWLASER を利用し、受光素子にはフォトマルを利用している。記録時は図2において閉じた状態のシャッターを開き DMD に表示した画像を記録する。相関演算時はホログラフィックディスクを CWLASER で連続的に読み出す。実験結果の一例を図2(b)にしめす。光受光デバイスからの電圧を取得するとオシロスコープで(b)のような波形が得られる。(b)のグラフは code#25 が自己相関であり、その他が相互相関である相関演算結果である。図2の光学系を利用し多重ピッチ 10 μm, 回転速度 300 rpm において、顔画像 30 名分を用いた相関演算実験を行なった。EER 0 % という高精度な結果を得た。回転系でのホログラフィック相関演算では世界初である。またパルスレーザと CW レーザという異なるレーザにより記録と再生に成功した。現在 SN 比の向上、高速化、小型化に向けた検討を行っている。



図3 FARCO 2.0 の外観図

2.3 試算演算速度

ディスク半径 r (mm)・多重記録間隔 d [mm]・ディスク回転数 R [rpm]により算出される 1 秒間に相関演算が可能な画像枚数を相関演算速度 V_c [frame/s]とし、下式に示す。

$$V_c = \frac{2\pi r}{d} \cdot \frac{R}{60}, \quad (1)$$

デジタル計算機における相関演算処理では、RAM への計算用データの転送(bps), CPU での相関演算[Hz]に別々に行われる。ホログラフィック光相関の場合、データの転送と相関演算とを同時に実行可能である。転送速度のみに焦点をあててホログラフィック光相関の高速性を考察する。記録画像サイズ (DMD の画素サイズ) を、画像の x 軸のサイズ $P_x[\text{pixel}]$, 画像の y 軸のサイズ $P_y[\text{pixel}]$ として、光相関演算における転送速度 $V_{tr} [\text{bps}]$ は単純にこれらを積算した値になる。320x240bit/page において、10 μm の多重で 2,000 rpm の回転数である場合、 V_{tr} は 96 Gbps となる。この速度は白黒 2 値の QVGA 画像を 125 万枚/s もの速度でデータ処理が可能であることを意味する。

2.4 応用と可能性

FARCO は、膨大な動画像を扱う検索サービス、バイオメトリクス認証、その他多くのアプリケーションを創出する可能性がある。例えば汎用データ検索&演算の分野でもネット上の膨大なデータをデータマイニングするなどのニーズは高い。こうしたユーザからの情報発信を分析し、マーケティング情報として活用する動きも活発だが、今後はデータ量と処理量が膨大になることが課題になるといわれている。またシステムを膨大な動画の認識システムとして適用すれば、ネット上の動画像を高速に識別することが可能となる。更に FARCO は無色透明の位相物体も取り扱う事が可能であり、直接位相変調する透明物体を対象サンプルとして想定した位相相関システムでは、良好な結果を得ており、細胞診断におけるサンプルを対象に医療診断や検査指針の一部を担える可能性もある。

3. まとめ

ホログラフィック光ディスクを光相関演算に適用することで、他のストレージデバイスには成しえないホログラフィック光相関システムを提案し、原理実験に成功した。ホログラムによる光情報処理は 2 次元データとの高速マッチングとして有効であり、あらゆるデータ処理に応用できる可能性がある。このシステムの機能を分かりやすく公開することで、多様なアプリケーションに適用されていく事を期待している。

【渡邊恵理子 (日本女子大学)・小舘香椎子 (日本女子大学) / 光メモリ・情報処理分科会】

参考文献

- [1] <http://www.infoplosion.nii.ac.jp/info-plosion/>
- [2] 廣池敦, はいたつく 2007-12, 487, 21(2007).
- [3] A. Vanderlugt, IEEE Trans. Tnform. Theory, IT-10,139 (1964).
- [4] C. S. Weaver, et.al., Appl. Opt., 5, 1248 (1966).
- [5] H. Horimai, et.al: Appl. Opt., 44, 2575 (2005).
- [6] E. Watanabe, et.al, J.J.of App.Phy, 45, 8B, 6759 (2006).
- [7] E. Watanabe, et.al., Appl. Opt., 44, 5, 666 (2005).
- [8] L. Hesselink, et.al., Communication of the ACM, 43, 33 (2000).
- [9] X. Tan, et.al., Proc. SPIE, 6343 (2006).
- [10] K. Tanaka, et.al., Opt. Exp, 15, 24, 16196 (2007)
- [11] A. Hirooka et al., Tech. Digest of ODS06, 12 (2006).
- [12] 福田隆史 他., 映像情報メディア学会誌, 61, 741 (2007).
- [13] M. Toishi, et.al., Jpn. J. Appl. Phys., 46, 3775 (2007).
- [14] <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20050713/106682/>