

共同利用(産業利用トライアルユース:先端研究施設共用促進事業
『みんなのスパコン』TSUBAME によるペタスケールへの飛翔)
成果報告書 平成 21 年度 新規利用拡大 課題 i09ne

進化的映像符号化の高度並列シミュレーション
Highly Parallelized Simulation of Evolutive Image Coding

高村誠之
Seishi Takamura

日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation
<http://www.ntt.co.jp>

邦文抄録

遺伝的プログラミング(GP)に基づく「進化的手法」は、計算機によるアルゴリズム自動生成を可能とし、プラント制御、ロボット制御、株価予想など幅広く応用されている。しかしながら、JPEG や H.264/AVC などの従来の映像/画像符号化方法は、すべて固定された(動的でない)アルゴリズムを用いている。筆者が検討を進めている「進化的符号化」は、GP に基づき入力画像に特化した画像予測アルゴリズムを自動生成するもので、従来の「固定アルゴリズム」「人が考案」「人がコーディング」からの脱却を図る、新たなパラダイムに向けた試みである。本論文では、進化処理を並列化し、さらに TSUBAME を用いることで進化処理が 2-3 桁高速化し予測効率が約 2%向上した事例を紹介する。

英文抄録

Evolutive methods based on genetic programming (GP) enable dynamic algorithm generation, and have been successfully applied to many areas such as plant control, robot control, and stock market prediction. However, conventional image/video coding methods such as JPEG and H.264/AVC all use *fixed* (non-dynamic) algorithms without exception. The evolutive coding enables an automatic generation of pixel prediction algorithm. It is a radical departure from conventional "fixed algorithm", "man-made algorithm" and "hand-made programming" toward a new paradigm. In this report, we introduce a GP-based image predictor that is specifically evolved for each input image, which have been evolving day by day. We demonstrate its prediction performance. We also report about speeding up the evolution process using parallelization by a factor of 100-1,000 as well as improving the prediction efficiency by about 2 %.

Keywords: 遺伝的プログラミング, 画素予測器, 可逆画像符号化, 並列処理

背景と目的

従来、符号化において適応的に最適化される対象として、H.264/AVC に代表される映像符号化方式では動きベクトルや予測モード等が、JPEG-LS や CALIC[1]等の可逆画像符号化方式では周辺画素の重み係数やコンテキスト分離閾値等がある。従来これら動きベクトルや量子化パラメータ等の「符号化パラメータ」は動的に変更され得るものの、「符号化手順」自体はあくまで固定であった。即ち、新たな符号化手順は人間が試行錯誤の末考案するほかになく、故に符号化器の構成は人間の把握しうる程度の複雑さを越えることができなかつた。また、入力画像に特化した符号化手順を(画像カテゴリでなく)画像毎に新規に生成するようなことも非現実的であった。

そこで映像符号化の手順自体を計算機により映像毎に動的最適構成させることを究極の目的と考え、我々は進化的手法、具体的には遺伝的プログラミング(Genetic Programming, GP)を用いて画像毎に自動構成する方法を検討している[2]。

しかしながら進化計算は、生存選択・世代交代を何度も繰り返し行い優良個体を得る方法であるため、極めて処理量が大いという問題があった。

そこで本プロジェクトでは、大規模 HPC システム TSUBAME を利用し、進化計算の並列度をより高めることで、どの程度高速化が可能であるかを実験を通して確認した。その結果、利用コア数にほぼ比例した高速化が実現できることが確認された。

概要

進化計算をシングルプロセスで行う場合、高速化手段として(GP の)ツリー評価の能率化や高速プロセッサの利用などが考えられるが、期待できる高速化は高々 2-3 倍のオーダーに留まる。

そこで並列動作向けに進化計算のプログラムフローを変更する。すなわち、共有ファイルに全体最良個体を記録し、母集団が一代経る毎(10 秒程度)に、そのタイムスタンプを確認し、変化があった場合(他プロセスによる記録更新があった場合。数十回に一回程度の頻度)、自己の最良個体へ取り込みあるいは共有ファイルの全体最良個体へ書きす(サイズは数百バイト程度)。こうして複数プロセス間で全体最良個体が共有される。またファイル I/O 負荷は無視できる程度である。

しかる後、図 1 に示すような複数プロセスによる進化計算を行う。ファイル共有によるプロセス間通信のため、ソースコードも実行環境も、OS に依存しない。またプロセス間は非同期に実行できるため、プロセスの途中離脱・途中追加が随時可能であり、かつスケラビリティが $1 \sim \infty$ となる。またプロセス間の同期をとらないので各コアの load は常に 100%となる。

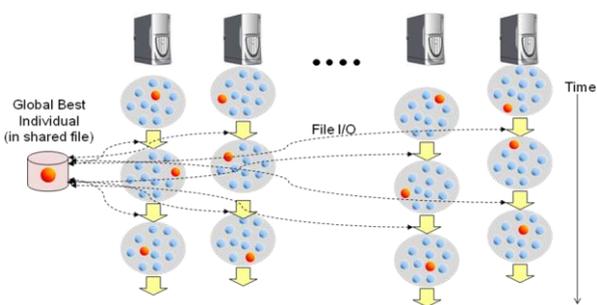


図 1. 非同期並列進化の実行イメージ(時間は上から下へ、楕円が母集団、球が個体、赤い球が最優良個体)

結果および考察

今回の実験画像は符号化研究で標準的に用いられている画像の一つ、lena(図 2)である。



図 2. 8bit/pel, gray scale テスト画像 lena.

単一プロセスによる進化は、弊社の PC(Core2 Extreme QX9775 3.2GHz, 4GB Memory, MS Windows Vista Ultimate 32bit SP1)にて行い、その他(16 並列以上)は全て TSUBAME を利用した。共有ファイルは/iwork 内に設置した。図 3 に、異なる並列度における予測器進化計算の性能改善速度を示す。横軸は時間、縦軸は予測残差エントロピー(予測器情報量も含む画素あたり情報量)である。グラフの水平線は 4.407 bit/pel をあらわしている。

図 3 のグラフをみると、並列度が高まるにつれ進化が早まり、より高性能な予測器が得られることがわかる。うち 1,568 並列実験においては hpc1(65 ノード), hpc3(33 ノード)を同時使用した。

予測残差エントロピーについて、以前我々が得た値(予測器情報量含む)[1]および高性能可逆符号化器である CALIC[2]の値はそれぞれ 4.482, 4.539 bit/pel であったが、今回 1,568 並列において 4.395 bit/pel の値が得られた。これは[1][2]に対しそれぞれ 1.98%, 3.28%の性能改善である。

並列度毎の速度比較を定量的に行うために、予測残差平均情報量が 4.407 bit/pel に達するまでの時間(図 3 の水平線と各グラフとの交点)を表 1 に示す。

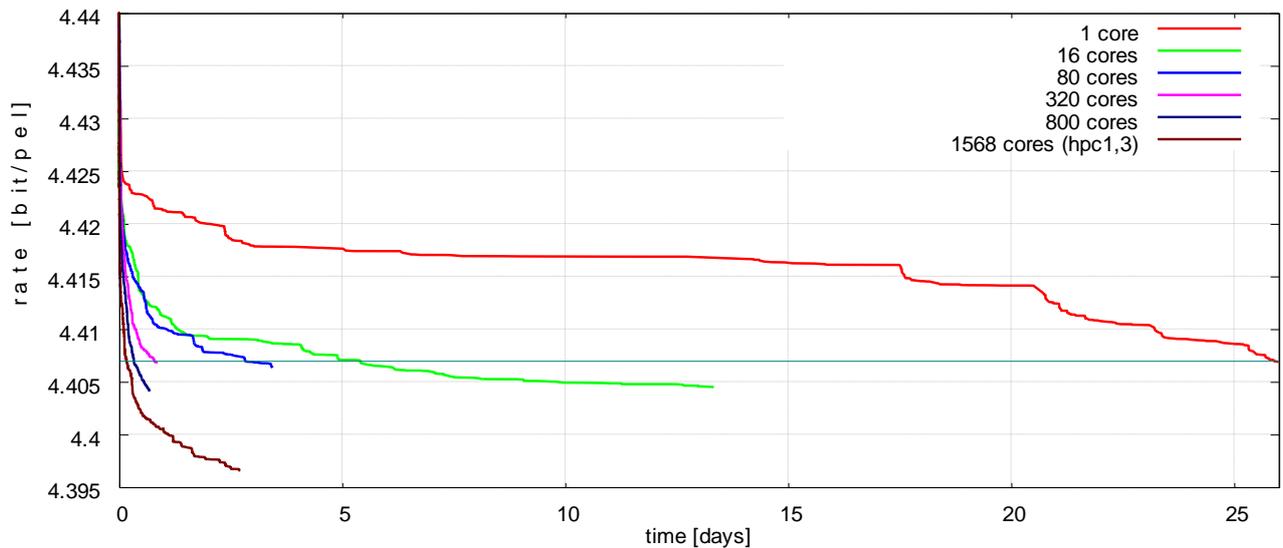


図 3. 並列進化結果。横軸は演算時間、縦軸は総平均情報量。水平実線は 4.407bit/pel

表 1. 4.407 bpp に到達するまでの時間

並列度(コア数)	時間(days)
1	25.9
16	5.41
80	2.82
320	0.79
800	0.33
1,568	0.129

また、同表における時間の逆数を「進化速度」とみなしてコア数との関係をグラフ化したものを図 4 に示す。コア数にほぼ比例して進化速度が向上することが見て取れる。しかしながら進化計算は多次元探索の一種であり、初期値が異なれば得られる予測器や性能も試行毎に異なる、という性質を元来有していることに注意する必要がある(e.g., 図 3 で 16 cores(緑)と 80 cores(青)のグラフが開始後互いに拮抗しているなど)。

まとめ、今後の課題

TSUBAME の利用と処理の並列化による、進化的画像符号化の高速化・高性能化について述べた。実験の結果、本プロジェクトのシステムは計算資源の利用効率が高いこと、2-3 桁の高速化が図れること、得られる予測器の性能も従来より約 2%高まることなどが明らかとなった。

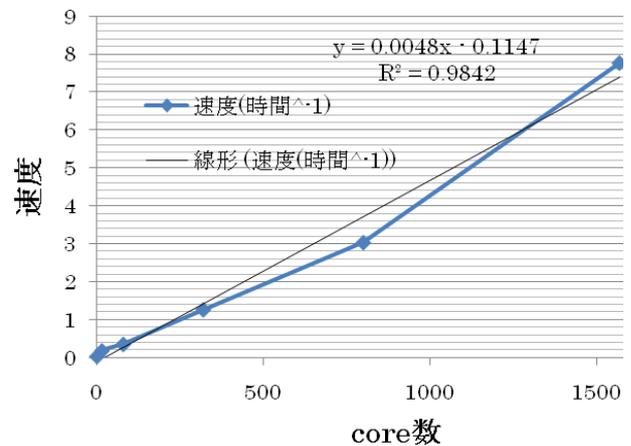


図 4. コア数と進化速度(特定ビットレートに達する時間の逆数)の関係

今後は、より高度な進化手法も併用しつつ、大規模 HPC である TSUBAME の資源を最大限に利用することで、現状のさらに先に広がる超高圧縮の世界を垣間見ることを期待したい。

参考文献

- [1] 高村誠之, 松村誠明, 八島由幸: “遺伝的プログラミングに基づく画素予測器の生成と評価”, 電子情報通信学会技術報告, vol. 108, no. 425, IE2008-210, pp. 37-40, Feb. 2009
- [2] X. Wu, and N. Memon: “Context-based, adaptive, lossless image coding”, IEEE Trans. Commun., vol. 45, no. 4, pp. 437-444, Apr. 1997