

Intel® Optane™ DC Persistent Memory・メモリーモードのアプリ性能へ与える影響検討

児玉 宏喜¹ 風間 哲¹ 吉田 英司¹

1. はじめに

2019年4月にIntel社からDRAMの速度に迫る大容量メモリ Intel® Optane™ DC Persistent Memory (DCPM)が発売された[1]。DCPMのメモリーモードでは、同時搭載するDRAMはキャッシュとして使われるため、OSからはDCPMの容量だけがメモリ容量として認識される。CPU内のキャッシュとは異なり、ユーザ側でDRAM搭載枚数を変更することでキャッシュ容量を設計できる点がシステム性能を考える上で大きく異なる。本キャッシュ機構に関して、データ量がキャッシュDRAMに収まる場合のSPEC CPUベンチマーク性能[3]は、DRAMのみのシステムと同じ性能となり、キャッシュ機構のオーバーヘッドは少ないことが報告されている[2]。

2. 課題とねらい

DCPMをメモリーモードで使用する目的として、ビット単価の安い大容量なDCPMをDRAMの代わりに利用することで、比較的安価に大容量メモリ搭載サーバを実現することが考えられる。この場合、データ量はキャッシュDRAMより大きくDCPMにデータが格納されるため、DCPMの性能がアプリ性能に影響を及ぼす。さらに、上記の目的を達成したい場合に、DRAMモジュールの枚数を減らすと、容量だけでなく帯域も同時に減ることに注意する必要がある。一方で、追加されるDCPMモジュールの帯域はDRAMモジュールに劣る。したがって、アプリケーションに対してコスト最適な構成を見積もることは簡単ではない。また、性能見積もりに有効なDRAMキャッシュへのヒット率(データのローカルティ)は、アプリケーションによって変わる難しさも加わる。本論文では様々なアプリ環境をSPEC CPU 2017のアプリケーション群にたとえ、DCPMをメモリーモードで使用した場合の性能を測定し、構成がアプリ性能へ与える影響について報告する。

¹(株)富士通研究所 ICTシステム研究所
Fujitsu Laboratories Ltd., Kawasaki, Kanagawa 211-8588, Japan

3. 実験方法・結果・考察

表1に実験に使用したシステムを示す。最初にSPEC CPU2017の各アプリケーションのメモリ使用量をIntel® VTune™ Amplifier - Platform Profilerを使って測定した。各アプリケーションの平均メモリ使用量を表2に示す。10個のアプリケーションのうち、最も使用メモリ量が多いアプリは約30GBを利用する502.gcc_rであった。

次に、データがDCPMに格納される状況にするため、先に調べたメモリ使用量よりDRAMキャッシュが少なくなる構成を検討した。構成を図1に示す。構成1-3は、DRAMのみの構成で、メモリコントローラに対してDRAMを増やして帯域と容量を増やした構成である。構成4-6は、DRAMキャッシュを16GBとして、DCPMでメモリ拡張と帯域を増

表1 システム構成

CPU	Xeon Gold 5218 16 core 32 thread, 2.3 GHz
DRAM	8 GB DDR4 2133MHz
DCPMM	128 GB DCPMM
Storage	SATA HDD 1TB
Linux	SLES 15, kernel 4.19.9-25.25
Hyper-Threading	Disabled
DCPMM firmware	1.2.0.5336

表2 SPEC CPU 2017 実行時のメモリ使用量

	Application	Used (GB)	Page Cache(GB)
1	500.perlbench_r	5.6	11.0
2	502.gcc_r	29.3	10.3
3	505.mcf_r	20.7	11.2
4	520.omnetpp_r	8.3	10.7
5	523.xalancbmk_r	13.0	10.0
6	525.x264_r	4.3	11.0
7	531.deepsjeng_r	23.7	11.4
8	541.leela_r	1.6	11.4
9	548.exchange2_r	1.2	11.5
10	557.xz_r	21.3	11.6

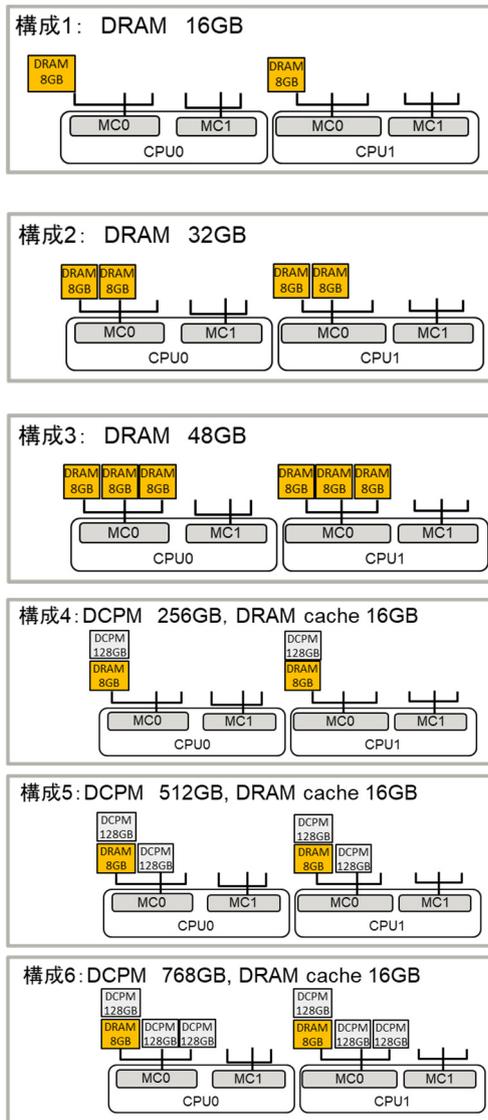
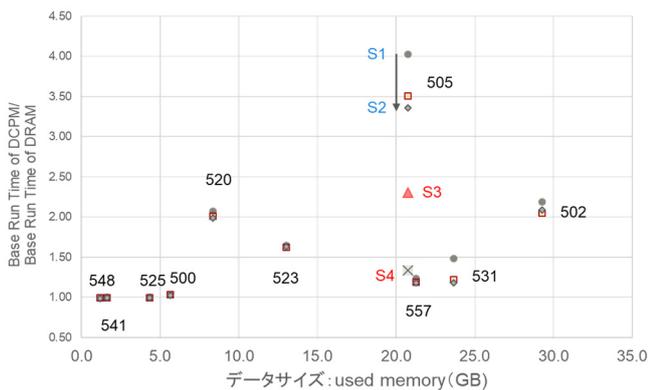


図 1 システム構成



● 構成4/構成3 □ 構成5/構成3 ◆ 構成6/構成3 ▲ 構成1'/構成3 × 構成2/構成3

図 2 データサイズと性能の関係

やした構成である。図 2 に SPEC CPU 2017 の結果を示す。横軸は表 1 に示したメモリ使用量として、縦軸は構成 3 の最も処理時間の短い結果に比した比率をとっている。1 に近いほど処理時間が変わらないことを示している。各プロッ

トの近傍には、アプリケーションの略称を示した。なお、構成 1 は SPEC が動作しなかった。これは、SPEC に必要なメモリ量を満たしていないこともあり、実際の測定も途中で止まってしまった。531 と 557 アプリケーションは、DCPM でメモリ拡張しても、処理時間比は 1 に近く、メモリ拡張に向いていると考えられる。一方、505 アプリケーションは構成 4/構成 3 は、4 倍(S1)と悪い。S1 から DCPM で帯域を増やすと 3.4 倍(S2)まで性能があがっている。赤△マーク(S3)は構成 1 の DRAM を 8GB から 32GB に変えた構成 1'(32GB × 2)/構成 3 である。また、×マーク(S4)は、構成 2/構成 3 である。S3 と S4 は DRAM だけの構成で Used メモリより大きい容量なので、両者の差は帯域が増えたことによる性能向上と考えられる。このように、505 アプリケーションは、帯域依存が性能に与える影響が非常に大きいといえる。帯域依存が大きいアプリに DCPM でメモリ拡張する際、帯域を確保しながら容量拡張することに気を付けなければならない。一方、S3 と S1 の差分は帯域は同じなので、この差分の約 1.7 倍が DCPM にデータが置かれたことによる性能劣化と考えられる。DCPM の帯域は、DRAM と比べて約 1/10 なので[1]、このように一見 4 倍もの遅延があるように見えても、実は帯域不足による性能劣化が大部分を占めている場合もあるので、構成を決めるためには容量だけでなく帯域にも注意が必要である。

4. まとめ

本報告では、DCPM のメモリーモードを使ってメモリ拡張する際に、キャッシュとして利用される DRAM とメモリとして利用される DCPM の構成が性能に及ぼす影響をアプリケーションに SPEC CPU 2017 を使い検討した。アプリケーションが使うデータ量が DRAM キャッシュ量より多く DCPM にデータが格納される状況下で DCPM に置き換えた場合の性能変化を知ることができる。このとき、DCPM を DRAM に置き換えることで帯域も同時に減り、かつ、DRAM と DCPM の帯域は同一ではない影響も受ける。このように性能の変化には帯域依存が含まれてしまい、帯域依存が大きいアプリの場合ミスリードをする可能性がある。これを避けるためには、アプリケーションが必要なメモリ帯域を測定して性能が飽和する帯域を把握して DCPM と DRAM の搭載比率を決める必要がある。

参考文献

- [1] Intel Corporation news, <https://newsroom.intel.com/image-archive/images-data-centric-innovation-products/#gs.s3efii>, April 2019
- [2] J. Izraelevitz, J. Yang, L. Zhang, J. Kim, X. Liu, A. Memaripour, Y. J. Soh, Z. Wang, Y. Xu, S. R. Dulloor, J. Zhao, and S. Swanson, "Basic Performance Measurements of the Intel OptaneDC Persistent Memory Module," CoRR, 2019. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1903.05714>
- [3] SPEC CPU® 2017. <https://www.spec.org/cpu2017/>