

学位論文 博士(工学)

構造型ストレージ向け複数GPU間分散
キャッシュの研究

平成 29 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

森島 信

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	森島 信
主 論 文 題 名：構造型ストレージ向け複数 GPU 間分散キャッシュの研究				
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年の情報通信技術やセンシング技術の発展によって生成されるようになった多様な情報を効率的に保存、管理するためのシステムとして、特定用途に特化しており、高い拡張性とスループットを持つ構造型ストレージが広く用いられている。構造型ストレージは取り扱うデータの種類や用途に合わせて様々な実装が提案されているが、データ構造によって、KVS(Key-Value Store)型、ドキュメント指向型、グラフ型の3つに分類できる。構造型ストレージでは、ドキュメント指向型の正規表現探索やグラフ型のグラフ探索といった特に計算量の大きいクエリを中心にボトルネックとなる。これらの処理は並列化可能であり、近年並列処理性能の向上が著しいGPUを用いることで高速化できる。しかし、構造型ストレージは、データ構造がGPUで処理することを考慮されておらず、そのままGPUを用いて高速化するのは困難である。そこで本論文では、ドキュメント指向型、グラフ型それぞれの構造型ストレージに対して、メモリ利用効率が高く、GPU処理に適したデータ構造のキャッシュを提案する。このキャッシュに対して正規表現探索やグラフ探索処理を行うことで、各システムの枠組みを維持しつつ、ドキュメント指向型、グラフ型ストアの高速化を達成した。GPUを用いたキャッシュ手法の問題点として、GPUのデバイスメモリによる制約があげられる。GPUのメモリ容量は、ホストメモリよりも小さく、GPUのメモリ容量を超える量のデータを扱う場合には、複数回に分けてGPUへ転送、計算を繰り返さなければならず、高速化率が大幅に減少する。この問題点を解決するために、本論文では、提案するキャッシュ機構を10GbEで遠隔接続された複数のGPUへ拡張し、より多くのGPUによる分散キャッシュとすることで、GPUのメモリ容量を超える量のデータにも対応可能にする。この際、グラフの非同期更新とドキュメントのハッシュを用いた分散によって転送と計算の重複実行をすることを提案し、転送遅延による性能低下を抑えつつ、遠隔GPUへの分散キャッシュの拡張を可能にする。</p> <p>評価では、各種構造型ストレージと本提案手法の3台の遠隔GPUによるキャッシュとの性能比較を行った。ドキュメント指向型の評価では、文字列の正規表現探索をドキュメント1件あたり128文字、1千万件のドキュメントに対して実行し、提案手法はドキュメント指向型ストアに対して75.0倍のスループットを達成した。また、グラフ型の評価では、単一起点最短経路問題を頂点数320万、次数100のグラフに対して実行した際、提案手法はグラフ型ストアに対して383.2倍のスループットを達成し、本提案手法により構造型ストレージを大幅に高速化できることを示した。これらの評価では、正規表現探索に関してはクエリ実行中のGPU間同期が発生しないため、GPU数の増加による並列度の増加に伴ってスループットが向上した。グラフ探索では、クエリ中に同期が発生するため、単純にGPU数を増やしただけでは性能向上を見込めないが、本論文では、同期オーバーヘッドを削減する手法を提案することで、GPUを複数用いた場合のスループットの向上を達成した。</p>				

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Shin Morishima
Thesis Title A Study on Distributed Cache over GPUs for Structured Storage			
Thesis Summary <p>Structured storages are widely used for storing and managing various data made by telecommunications and sensing devices. They provide high scalability and throughput for some specific application domains. They are classified into three types by data structure: KVS (Key-Value Store), document-oriented store, and graph store. Performance bottlenecks in structured storages are related to a certain class of queries that requires high computation cost such as regular expression search on document-oriented store and graph search on graph store. These queries can be parallelized and accelerated by GPUs whose parallel processing performance is significantly improving recent years.</p> <p>This thesis proposes a cache structure suitable for GPU processing with high memory efficiency for each structured storage. A GPU performs regular expression search or graph search for the proposed cache so that these queries are accelerated without largely changing the original structured storage framework. The proposed acceleration method using cache can be applied to various applications using structure storages. The problem of GPU processing is a restriction of memory capacity of GPU device memory. The capacity is smaller than a host memory. When a cache size is larger than a GPU device memory, performance improvement by GPU processing drastically decreases, because multiple CPU-GPU data transfers and computations are needed. To tackle this issue, the proposed cache is extended for multiple GPUs where GPU devices are connected via 10GbE so that the caches are distributed to multiple GPUs and increase the capacity of device memory. This thesis proposes an overlapped execution of computation and data transfer by asynchronous update of graph and document distribution using a hash structure. These methods can be extended to distributed cache for remote GPUs while suppressing a performance degradation by data transfer.</p> <p>The proposed distributed cache using three remote GPUs is evaluated in terms of query throughputs. A query that performs regular expression search from 10 M documents is accelerated by 75.0x compared to MongoDB. A query that performs single source shortest path search in graph store for a large graph with 3.2M nodes and 100 degree is accelerated by 383.2x compared to Neo4j. The results demonstrate that the proposed cache can accelerate these structured storages. In regular expression matching, because there is no synchronization between multiple GPUs during a query, the throughput increases as the number of GPU increases. In graph search, since synchronizations are required during queries, performance cannot be simply improved by increasing the number of GPUs. In this thesis, by proposing a method to reduce synchronization overhead, we achieved throughput improvement when using multiple GPUs.</p>			