

氏名(本籍)	棕木 大地 (岐阜県)				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博 甲 第 6722 号				
学位授与年月日	平成 25 年 11 月 30 日				
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当				
審査研究科	システム情報工学研究科				
学位論文題目	A study on linear algebra operations using extended precision floating-point arithmetic on GPUs (GPU における拡張精度浮動小数点演算を用いた線形計算の研究)				
主査	筑波大学 教授	博士(理学)	高橋 大介		
副査	筑波大学 教授	学術博士	和田 耕一		
副査	筑波大学 教授	工学博士	朴 泰祐		
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	櫻井 鉄也		
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	長谷川 秀彦		
	(図書館情報メディア研究科)				

論文の要旨

本論文では、GPU における拡張精度浮動小数点演算を用いた線形計算の研究を行った。本論文の第 1 章では、研究の背景と概要について述べた。第 2 章では、GPU における 3 倍・4 倍精度 BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms) ルーチンの実装と評価について述べた。拡張精度演算を用いた基本的な線形計算の実装と評価として、既存の 4 倍精度演算手法を用いた 4 倍精度 BLAS ルーチンの実装および新たな 3 倍精度演算手法の提案と 3 倍精度 BLAS ルーチンの実装を行い、性能を議論した。その結果、GPU において 3 倍・4 倍精度の AXPY や GEMV は性能がメモリ律速となり、その実行時間はデータサイズに比例することを示した。第 3 章では、GPU における疎行列ベクトル積の最適化について述べた。拡張精度演算を用いた疎行列反復解法を実装する前段階として Kepler アーキテクチャ GPU における倍精度の CRS 形式疎行列ベクトル積の実装最適化について検討した。その結果、Fermi アーキテクチャ GPU 向けに最適化された実装と比べて、最小約 1.04 倍～最大 1.78 倍の性能向上を達成した。第 4 章では、GPU における 4 倍精度演算を用いた疎行列反復解法の実装と評価について述べた。4 倍精度演算を用いた CG 法および BiCGStab 法を実装し、4 倍精度演算を用いることにより、倍精度演算と比べて丸め誤差を減らし反復回数を減らすことで、収束までの計算時間を短縮できる可能性について議論した。その結果、前処理なしの場合には 4 倍精度版の 1 反復あたりの計算時間は倍精度版の高々 2 倍程度となり、4 倍精度浮動小数点演算を用いることで求解までの計算時間が短縮できるケースが存在することが明らかになった。第 5 章では研究のまとめと今後の課題について述べた。

審査の要旨

【批評】

本論文では、GPUにおける拡張精度浮動小数点演算を用いた線形計算の研究を行った。大規模計算環境における丸め誤差の蓄積の増大に対処するために、今後拡張精度浮動小数点演算の必要性が増してくることが予想される。

GPU上に4倍精度と3倍精度のBLAS（基本線形計算）ルーチンを実装して評価を行い、最新のGPU向けに有効な最適化手法を明らかにするとともに、ベンダーが提供するルーチンよりも高く、かつ理論性能に近い性能を実現した点は大いに評価できる。また、最新のGPU上で疎行列ベクトル積ルーチンの最適化を行い、4倍精度浮動小数点演算を用いたクリロフ部分空間法を実装し、どのような場合に拡張精度浮動小数点演算が有効であるかについて評価を行った点についても高く評価できる。

3倍精度浮動小数点演算を用いた疎行列反復法の評価、精度も含めた性能評価の分析、実アプリケーションに近い状況での評価などが今後の課題として挙げられる。

【最終試験の結果】

平成25年9月26日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。