氏　　　　名	陳（ちん）　　　　慰（い）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学 位 記 番 号	第　11405　号
学位授与年月日	平成6年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Parallel Algorithms and Data Structures for Geometric Problems **（幾何学問題に関する並列アルゴリズムとデータ構造）**
論文審査委員	（主査） 教 授 都倉 信樹 （副査） 教 授 嵩 忠雄　教 授 菊野 亨　教 授 柏原 敏伸

論 文 内 容 の 要 旨

計算幾何学は，幾何学的な問題を算法的に扱う分野である。計算幾何学と関係が深い応用分野としてはロボテックス，コンピュータ・グラフィックス，統計学，VLSIのCAD，地理情報処理などが挙げられる。1975年頃からD.T.LeeやM.I.Shamosらをはじめとして計算幾何学の研究が盛んになり，幾何学問題に関するさまざまな逐次アルゴリズムが数多く開発されてきた。計算幾何学の特徴の一つはデータ処理の規模がおおきいことである。問題の大きさnは，普通は数百，数千，多ければ数万，数十万以上という場合もある。また，応用分野によって，実時間のアルゴリズムがなければならない場合も多い。よって，アルゴリズムの時間計算量は，$O(n)$より小さく，できれば$O(\log n)$，せめて$\log n$の多項式オーダで抑えることが望ましい。1985年以来，A.Aggarwalら5人が*Parallel computational geometry*という論文を発表，その後，並列計算幾何学の研究が急速に進んできた。並列計算の研究の目標は，少ない時間計算量とプロセッサ数で問題を解決することである。従って，並列アルゴリズムのコスト（cost）は時間計算量とプロセッサ数の積で定義される。コストの最適（cost optimal）並列アルゴリズムとは，そのアルゴリズムのコストが問題の逐次lowerboundとオーダ的に一致することである。時間最適（time optimal）並列アルゴリズムとは，多項式個のプロセッサを用いる最速なアルゴリズムのことである。従って，コスト最適かつ時間最適な並列アルゴリズムの開発は究極な目的である。

並列計算幾何学の研究に関して最も多く使われている計算機モデルはPRAM（Parallel Random Access Machine）モデルである。このモデルは，共有メモリへのアクセスの制限によって，3つのモデル，CRCW（同時読みだし可，同時書き込み可，*Concurrent Read Concurrent Write*），CREW（同時読みだし可，同時書き込み不可，*Concurrent Read Exclusive Write*），EREW（同時読みだし不可，同時書き込み不可，*Exclusive Read Exclusive Write*）に分けられる。

本論文では，PRAMモデル上での，幾つかの基本的な幾何学問題に関する並列アルゴリズムとデータ構造を提案する。数多くの幾何学の問題について，最適逐次アルゴリズムはあるが，最適（コスト最適，あるいはコストかつ時間最適）な並列アルゴリズムはないのが現状である。その原因の一つは問題を解く逐次アルゴリズムに用いているデータ構造と手法が逐次的で，並列化しにくいことにある。原因のもう一つはよい並列アルゴリズムを開発するために，新しい幾何学の性質を見付けなければならないことにある。本論文は6章から構成される。第1章と第2章はそれぞれ序論と諸定義である。第3章では，新しいデータ構造：Array-List，Array-Treeを提案する。配列，リスト，木

は基本的なデータ構造としてよく知られている。そのうち，配列はプロセッサの割り当てが行いやすいので，一般に並列データ構造と考えられる。一方，ポインタの操作を基本とするリスト構造は逐次データ構造と考えられる。ところが，2つの配列の合併は2つのリストの合併より困難である。それ故，並列計算機上で，リスト構造が配列より悪いとは必ずしも言えない。提案するArray-ListとArray-Treeは，配列，リスト及び木のそれぞれの利点を取り込んでいる。論文の第4章－第6章では，Array-ListとArray-Treeを使って幾つかの基本的な幾何学問題をPRAMで解く，コスト最適かつ時間最適な並列アルゴリズムを提案する。第4章では，2つの凸包問題をEREW上で，$O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサで解くアルゴリズムについて述べる。そのうち，第一の問題はソートされた平面点集合の凸包を構成する問題，第二の問題は単純多角形の凸包を構成する問題である。歴史的に見ても，あるいは応用の豊富さを考えても凸包問題は計算幾何学の最も基本的な問題である。第5章では，単純多角形内部の2点間の最短径路を求める問題をEREW上で，$O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサで解くアルゴリズムについて述べる。最短径路問題は計算幾何学のもう1つの基本的な問題で，ロボットの移動，VLSIの設計などへ応用がある。また，ほかの幾何学問題を解くための基礎となる。第6章では，ソートされた点集合の接頭部凸包問題をCREW上で，$O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサで解くアルゴリズムについて述べる。ソートされた n 個の点集合 S が与えられたとき，S の第 i 接頭部は，S の最初の i 個の点からなる部分集合である。Sの接頭部凸包問題は，全ての i（$1 \leq i \leq n$）に対して，S の第 i 接頭部の凸包を構成する問題である。すなわち，S の接頭部凸包問題は S の凸包問題の拡張である。

本論文の意味は少なくとも以下3つにある。

（1） 2つの新しいデータ構造を提案した。これらのデータ構造は簡単で，また，その有効性は本論文で提案した最適並列アルゴリズムで証明された。

（2） 幾つかの基本的な幾何学問題をPRAMで解くコストかつ時間最適並列アルゴリズムを提案した。多くの分野への応用，また，他の幾何学問題の解決の基礎となることが予想される。

（3） 幾つかの新しい幾何学性質を見つけた。これらの性質が基本なので，幾何学そのものにも意味があると思われる。

論文審査の結果の要旨

本論文は，幾何学問題に関する並列アルゴリズムとデータ構造についての研究をまとめたもので，次のような成果を得ている。

(1) 2つの新しい並列データ構造：Array-ListとArray-Treeを提案している。Array-Listは配列とリストを組み合わせたデータ構造。Array-Treeは配列と木を組み合わせたデータ構造である。この2つのデータ構造が幾つかの幾何学問題を解くのに有効に使用できることを示している。

(2) 平面上の n 個の点の点集合が，（たとえば，その座標によって） ソートされている場合，凸包問題をPRAM EREW並列計算モデルで $O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサで解く最適並列アルゴリズムを示している。

(3) 単純多角形の凸包問題をPRAM EREW並列計算モデルで $O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサ。PRAM CRCW並列計算モデルで $O(\log \log n)$ 時間，$n/\log \log n$ プロセッサで解く最適並列アルゴリズムを示している。

(4) 単純多角形内の2点間の最短径路問題をPRAM EREW並列計算モデルで $O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサ，PRAM CRCW並列計算モデルで $O(\log \log n)$ 時間，$n/\log \log n$ プロセッサで解く最適並列アルゴリズムを示している。

(5) 接頭部凸包問題をPRAM CREW並列計算モデルで $O(\log n)$ 時間，$n/\log n$ プロセッサ，PRAM CRCW並列計算モデルで $O(\log \log n)$ 時間，$n/\log \log n$ プロセッサで解く最適並列アルゴリズムを示している。

以上のように，本論文は，並列データ構造と並列アルゴリズムに関する重要な結果を示しており，その成果は，並列処理，計算幾何学に貢献するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。