【 25 】

氏　　　　名	牧　野　　純（まき の じゅん）
博士の専攻分野の名称	博　士（理学）
学 位 記 番 号	第　12195　号
学位授与年月日	平成7年12月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	The Equipartition Method for Parallel Generation of Random Numbers (乱数の並列発生のための等分割法)
論文審査委員	(主査) 教 授 白旗 慎吾 (副査) 教 授 稲垣 宣生　教 授 後藤 昌司

論文内容の要旨

典型的な並列計算における乱数は，並列に生成される複数の乱数列を行として，2次元の配列をなすものと考えられる。このような配列を構成する簡単で一般的な方法が等分割法である。この方法では，乱数列の1周期が等しい長さの断片に分割され，それらを行または列として配置して配列を構成する。行として並べる配列を横型配列，列として並べる配列を縦型配列と呼ぶ。

等分割法による並列化は初期化と乱数発生の両方が効率良く実行できなければ利用できない。遅延フィボナッチ型の乱数発生法（加算法，減算法，乗算法，シフト・レジスタ法）は横型配列によって並列化できる。また，シフト・レジスタ法では縦型配列による並列化も利用できる。

横型配列による等分割法を適用するためには，原系列において初期値から遠く離れた項の値を計算する必要がある。遅延フィボナッチ型乱数発生法の場合には，共通の処方箋に基づいたアルゴリズムによって遠隔項が計算できる。漸化式の次数をpとすると，第n項を求めるための計算量はシフト・レジスタ法ではO(plogn）であり，加算法，減算法，乗算法，ではO(p^2logn）である。

多くの並列モンテ・カルロ計算で，乱数配列の行方向と列方向の性質が重要である。等分割法では，乱数列を分割した断片を並べたものという意味で，乱数配列は自明な構造を持っている。しかし，断片と直交する方向への構造は決して自明ではない。ここでは，乱数の直交方向への並びが全体として原系列と同じ周期の周期列をなすように等分割法を調整できることを示す。

シフト・レジスタ法に対しては，より詳細に並列構造を解析できる。そのために，PFSRという形式を導入する。シフト・レジスタ法を並列化するとき，乱数列だけでなく，平行なビット位置に生成されるM系列にも，重複が起こらないように配慮しなければならない。PFSR形式により，これらの条件が満たされているか否かの簡単な判定基準が得られる。

論文審査の結果の要旨

複数のCPUを持つ並列計算機における乱数生成では，個々のCPUで別々の乱数を発生させることは乱数の質が不明であり，一つの乱数列を分割して発生させるのが一般的である。従来は合同法による乱数列に等分割法が適用されてきたが，合同法には周期が短く構造があるという欠陥があった。並列計算機によるシミュレーションでは極めて多量の乱数を必要とする数値実験がますます増えつつあり，良質の乱数を効率良く高速で発生させることに対する要求が強まっている。

本論文は長周期で，かつ質の良いことで知られている遅延フィボナッチ数列による乱数を等分割法により並列化するアルゴリズム及び並列化された乱数の性質に関する研究成果をまとめたものである。得られた主な成果を要約すると以下の通りである。

遅延フィボナッチ数列の中ではシフトレジスタ法で生成される数列（M系列）が最もよく使われている。M系列乱数のコードをプログラム中のベクトル・ループの中に展開し，プログラム全体のベクトル化を阻害しない生成を可能にし，ベクトル乱数の初期化の効率良いベクトルアルゴリズムを与えた。また，分散記憶型多重プロセッサにおける並列化アルゴリズム，演算が加算法，減算法，乗算法の場合の並列化アルゴリズムを与えた。一方，等分割法を用いるには初期化として遠隔項の計算が必要である。漸化式によって与えられる数列の遠隔項を計算するための従来の方法より高速なアルゴリズムを求めた。

一方，得られた乱数列の性質の解明では，周期的な数列を配列したときの数の並びがどのような数列を構成するかを調べる方法を示し，並列乱数にとって最も重要な行および列方向の乱数の性質を調べる基礎を作った。さらに並列M系列乱数を一般的に記述する形式を導入し，乱数配列の構造をビット単位で調べることを可能とし，重複のない乱数でも特定のビット位置に重複が存在しうることを指摘し，M系列に重複が生じないための必要十分条件を与えている。

以上のように，本論文は並列計算機における並列乱数発生に関して，従来の方法では不十分であった問題に対して新たなアルゴリズムを提案し，かつ乱数の性質を解明する一般的な方法を与えるものであり，並列計算機による大規模シミュレーションの実用化とその背景となる理論に寄与するところが大きく，博士論文として価値あるものと認定する。