

並列スケルトンライブラリ「助っ人」の実現

松崎 公紀^{1,a)} 江本 健斗¹

概要: マルチコア CPU の普及などにより並列プログラミングがますます重要となってきた。しかし、並列プログラミングは逐次プログラミングと比べてより複雑で困難である。これを解決する 1 つの手法がスケルトン並列プログラミングである。この手法は、並列スケルトンと呼ばれる並列計算パターンを組み合わせることでプログラミングを行うというものである。

著者らのグループでは、これまで並列スケルトンライブラリ「助っ人」の開発を行ってきた。「助っ人」は、C++と MPI による分散メモリ並列計算環境を対象としたスケルトンライブラリであり、新しい「助っ人」の実現として次の 2 つの改良を行った。1 つは、C++のライブラリとしてより使いやすいようにインターフェイスを変更したことである。もう 1 つは、式テンプレートの利用による、逐次計算部分の融合変換を実装したことである。本論文では、これらの点を中心に、「助っ人」の設計と実装を示す。

キーワード: スケルトン並列プログラミング, 並列スケルトン, MPI

Realization of Parallel Skeleton Library “SkeTo”

KIMINORI MATSUZAKI^{1,a)} KENTO EMOTO¹

Abstract: Though parallel programming is getting more and more important according to the evolution of the hardware, it is still a complicated and hard task. *Skeletal parallel programming* is a promising way to parallel programming, in which we build parallel programs by composing ready-made computational patterns called parallel skeletons.

The authors' group has developed a parallel skeleton library “SkeTo,” which is implemented in C++ and MPI for distributed-memory parallel environments. Recently, the implementation of the SkeTo library was improved and the two important changes are as follows. First, the interface of the parallel skeleton functions was polished. Second, the fusion-optimization mechanism was implemented based on so-called expression template techniques. In this paper, we show the design and implementation of the new SkeTo parallel skeleton library.

Keywords: Skeletal Parallel Programming, Parallel Skeletons, MPI

1. はじめに

近年、計算機やネットワークの高性能化と低価格化によって、並列計算を行うことができる計算機環境を容易に手に入れることができるようになった。特に、マルチコア CPU の普及により、計算機を効率良く利用するために並列プログラミングがますます重要となってきた。しかし、並列プログラミングは、データおよび計算資源の分配、プロ

セッサ間の通信や同期など、逐次プログラミングと比べてより複雑で困難なものとなっている。

これを解決するための 1 つの手法に、「スケルトン並列プログラミング」 [5] がある。スケルトン並列プログラミングでは、並列スケルトンと呼ばれる並列計算で良く使われる計算パターンを組み合わせることでプログラムを作成する。並列性が並列スケルトンに隠蔽されることにより、ユーザは逐次プログラムを作成するように並列プログラムを作成することができるという利点がある。

著者らのグループでは 1990 年代の後半より、スケルトン並列プログラミングに関する研究を行ってきた。特に、構

¹ 東京大学 大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
University of Tokyo

^{a)} kmatsu@ipl.t.u-tokyo.ac.jp

NT2 [8] などがある。

6. まとめと今後の課題

本論文では、並列スケルトンライブラリ「助っ人」におけるリストスケルトンライブラリの新しい設計と実装を示した。並列スケルトンの定義については、ユーザ側からの直感的な定義に加えて、並列計算のための定義を与え、その定義をもとに融合変換を行う範囲をプロセス毎に独立したローカルな計算と定めた。実装に関しては、分散リストの実体をリファレンスカウンタによって管理し、式テンプレートによる融合変換を実装した。また実験により、並列スケルトンを組み合わせて得られる並列プログラムは十分に効率の良いものであることを確認した。

今後の課題は、並列スケルトンを拡充し表現力を向上することと、融合変換機構のさらなる実装である。現在の「助っ人」のリストスケルトンで扱えない、リストの長さが変わるような計算やソートなどの理論的にはまだ定式化ができていないが実用上重要な操作を取り込むことが必要であろう。また、融合変換機構の実装については、Emotoら [7] によって提案された、近傍要素を利用するような計算パターンに対する最適化についても実装することは応用上大事であると考えている。

参考文献

- [1] Aldinucci, M., Danelutto, M. and Dazzi, P.: Muskel: an Expandable Skeleton Environment, *Scalable Computing: Practice and Experience*, Vol. 8, No. 4, pp. 325–341 (2007).
- [2] Benoit, A., Cole, M., Gilmore, S. and Hillston, J.: Flexible Skeletal Programming with eSkel, *Euro-Par 2005, Parallel Processing, 11th International Euro-Par Conference, Lisbon, Portugal, August 30–September 2, 2005, Proceedings* (Cunha, J. C. and Medeiros, P. D., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3648, Springer, pp. 761–770 (2005).
- [3] Bird, R. S.: An Introduction to the Theory of Lists, *Logic of Programming and Calculi of Discrete Design* (Broy, M., ed.), NATO ASI Series F, Vol. 36, Springer, pp. 5–42 (1987).
- [4] Bischof, H., Gorlatch, S. and Leshchinskiy, R.: Generic Parallel Programming Using C++ Templates and Skeletons, *Domain-Specific Program Generation, International Seminar, Dagstuhl Castle, Germany, March 23–28, 2003. Revised Papers.*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3016, Springer, pp. 107–126 (2004).
- [5] Cole, M.: *Algorithmic Skeletons: Structural Management of Parallel Computation*, Research Monographs in Parallel and Distributed Computing, MIT Press (1989).
- [6] Emoto, K., Hu, Z., Kakehi, K. and Takeichi, M.: A Compositional Framework for Developing Parallel Programs on Two-Dimensional Arrays, *International Journal of Parallel Programming*, Vol. 35, No. 6, pp. 615–658 (2007).
- [7] Emoto, K., Matsuzaki, K., Hu, Z. and Takeichi, M.: Domain-Specific Optimization Strategy for Skeleton Programs, Kermarrec et al. [11], pp. 705–714.
- [8] Falcou, J., Sérot, J., Pech, L. and Lapresté, J.-T.: Meta-programming Applied to Automatic SMP Parallelization of Linear Algebra Code, *Euro-Par 2008 - Parallel Processing, 14th International Euro-Par Conference, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, August 26–29, 2008, Proceedings* (Luque, E., Margalef, T. and Benitez, D., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5168, Springer, pp. 729–738 (2008).
- [9] Hu, Z., Iwasaki, H. and Takeichi, M.: An Accumulative Parallel Skeleton for All, *Programming Languages and Systems, 11th European Symposium on Programming, ESOP 2002, held as Part of the Joint European Conference on Theory and Practice of Software, ETAPS 2002, Grenoble, France, April 8–12, 2002, Proceedings* (Métyer, D. L., ed.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2305, Springer, pp. 83–97 (2002).
- [10] Hu, Z., Takeichi, M. and Iwasaki, H.: Diffusion: Calculating Efficient Parallel Programs, *Proceedings of the 1999 ACM SIGPLAN Workshop on Partial Evaluation and Semantics-Based Program Manipulation, San Antonio, Texas, January 22–23, 1999* (Danvy, O., ed.), University of Aarhus, pp. 85–94 (1999). Technical report BRICS-NS-99-1.
- [11] Kermarrec, A.-M., Bougé, L. and Priol, T. (eds.): Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4641, Springer (2007).
- [12] Kuchen, H.: A Skeleton Library, *Euro-Par 2002, Parallel Processing, 8th International Euro-Par Conference Paderborn, Germany, August 27–30, 2002, Proceedings* (Monien, B. and Feldmann, R., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2400, Springer, pp. 620–629 (2002).
- [13] Matsuzaki, K.: Efficient Implementation of Tree Accumulations on Distributed-Memory Parallel Computers, *ICCS 2007: 7th International Conference, Beijing, China, May 27–30, 2007, Proceedings, Part II* (Shi, Y., van Albada, D., Dongarra, J. and Sloot, P., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4488, Springer, pp. 609–616 (2007).
- [14] Matsuzaki, K., Iwasaki, H., Emoto, K. and Hu, Z.: A Library of Constructive Skeletons for Sequential Style of Parallel Programming, *InfoScale '06: Proceedings of the 1st international conference on Scalable information systems*, ACM International Conference Proceeding Series, Vol. 152, ACM Press (2006).
- [15] Matsuzaki, K., Kakehi, K., Iwasaki, H., Hu, Z. and Akashi, Y.: A Fusion-Embedded Skeleton Library, *Euro-Par 2004 Parallel Processing, 10th International Euro-Par Conference, Pisa, Italy, August 31–September 3, 2004, Proceedings* (Danelutto, M., Vanneschi, M. and Laforenza, D., eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3149, Springer, pp. 644–653 (2004).
- [16] Reinders, J.: *Intel Threading Building Blocks: Outfitting C++ for Multi-core Processor Parallelism*, O'Reilly Media, Inc (2007).
- [17] Singler, J., Sanders, P. and Putze, F.: The Multi-Core Standard Template Library, Kermarrec et al. [11], pp. 682–694.
- [18] Veldhuizen, T. L.: Arrays in Blitz++, *Proceedings of the 2nd International Scientific Computing in Object-Oriented Parallel Environments (ISCOPE'98)*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1505, Springer, pp. 223–230 (1998).