

在整體照明中一個具有精確誤差估計的輻射熱 演算法之設計

計畫編號：NSC87-2213-E-009-079

執行期間：86/08/01—87/07/31

主持人：施仁忠 教授 交通大學資訊科學研究所

一、中文摘要（關鍵字：整體照明、
熱輻射演算法、誤差估計、可靠
誤差邊界、階層式熱輻射演算法）

在逼真的影像合成中，整體照明是一項基本的要素，而熱輻射演算法能提供一個解決照明問題的方法。然而，一般而言，熱輻射演算法只能得到近似解，於是會產生誤差。若沒有誤差估計，熱輻射演算法將會花更多的計算時間以達到更高精確度的結果。因此，誤差估計對熱輻射演算法是很重要的。在本計畫中，我們研究整體照明中的熱輻射演算法與其誤差估計。我們做精確的誤差估計以及提出可靠的誤差邊界以改進階層式熱輻射演算法。

英文摘要（Key Words: Global Illumination、Radiosity、Error Estimation、Reliable Error Bounds、Hierarchical Radiosity Algorithm）

Global illumination plays an essential role in realistic image synthesis. Radiosity provides a solution in solving the global illumination problem. However, in general, the radiosity

approach can only produce approximate results and, thus, errors are introduced. Without error estimation, it takes much computation time to achieve higher accurate results. Therefore, the error estimation is very important for radiosity. In this project, we study the radiosity algorithm and its error estimation in global illumination. We make accurate error estimations and propose reliable error bounds to improve the hierarchical radiosity algorithm.

二、計畫緣由與目的

產生逼真之影像一直是計算機圖學之首要目標之一，欲達到此一目標，一般需考慮二個主要因素：表示物體（Objects）之精確程度及環境之光照效果，前者與模型之建構有關，而後者則與照明（Illumination）關係密切。而照明可分為二個部份：區域照明（Local Illumination）與整體照明（Global Illumination），區域照明只考慮來自少數點光源之光線，而整體照明則考慮照亮物體的所有光線，包括來自光源及經由物體一次或多次反射而來之光線，因此整體照明顯然比區

域照明之效果好許多。然而要如何有效並精確地模擬整體照明之效果始終是影像合成工作中最困難的項目之一。

熱輻射演算法 (Radiosity) 所處理的便是整體照明中擴散反射

(Diffuse-reflection) 之部分，它亦已成為產生如照片般逼真影像的重要技術，尤其是在虛擬實境 (Virtual Reality) 之應用上，熱輻射演算法不僅能增加虛擬環境之真實程度，並由於熱輻射演算法具有觀點不相關

(View-independent) 之特性，因此極適用於動態遊走

(interactive-walkthrough) 之應用中。熱輻射演算法中最大的挑戰是如何達到精確度 (Accuracy) 及效率

(Efficiency)。截至今日，已有許多文獻探討熱輻射演算法中效率方面的問題，然而精確性方面的問題則較少討論，近來，誤差分析 (Error Analysis) 在熱輻射計算中已日形重要，在本計畫中，我們提出精確誤差估計及可靠誤差邊界 (Reliable Error Bounds) 用以改良熱輻射演算法。

三、研究方法與成果

針對整體照明中所使用之階層式熱輻射 (Hierarchical Radiosity) 演算法的誤差估計，我們在下列幾個方向作了深入的研究：

1. 誤差估計：

我們提出較嚴謹的誤差邊界 (Tighter Error Bound) 及加權之誤差計量 (Weighted Error Metrics)，首先導出形式因子 (Form Factor) 之較嚴謹誤差邊

界，並以其為分割準據，如此可減少不必要之連結並改良階層式熱輻射演算法之速度，以符合使用者設定之誤差容忍度 (Error

Tolerance)。接著在形式因子的計算過程中提出一種加權之誤差計量，以便在陰影邊界 (Shadow Boundaries) 可自動多做計算，因而增進影像之品質。如此，不僅可改善階層式熱輻射演算法之運算速度，並可增加陰影邊界之精確度。產生之結果如圖 1 所示。

圖 1：將較嚴謹的誤差邊界及加



權之誤差計量應用於階層式熱輻射演算法所產生之結果。

2. 精確度之增強

根據使用者設定之誤差容忍度及最小片區域 (Minimum Patch Area)，我們在階層上以由下向上 (Bottom-Up) 方式-有別於傳統階層式熱福射法之由上向下

(Top-Down) 方式-加上一些連結，如此在較高階之片上能獲得較精確之誤差邊界，也因此可取得較精確之形式因子，進而增加階層式熱輻射演算法之精確度。產生之結果如圖 2 所示。



圖 2：以增強精確度方式應用於階層式熱輻射演算法所得到之結果。

3. 以模糊邏輯 (Fuzzy Logic) 增加效率
- 在階層式熱輻射演算法中，可見度計算 (Visibility Computation) 是最花費計算時間的一部份，也因此若能減少能見度計算所需之時間，則整體效率即可大幅提升。我們提出一使用模糊邏輯技術之方法，對能見度作有效率的估計，結果大幅提升了階層式熱輻射演算法之效率。產生之結果如圖 3 及圖 4 所示。



圖 3：以模糊邏輯方式應用於階層式熱輻射演算法所得到之結果。



圖 4：以模糊邏輯方式應用於階層式熱輻射演算法所得到之結果。

四、結論與討論

我們已探討了整體照明中之熱輻射演算法及其誤差估計，也提出了可靠的誤差邊界、誤差計量及模糊邏輯演算法以改良階層式熱輻射演算法。

五、參考文獻

1. J. Arov, K. Torrance, and B. Smits, "A framework for the analysis of error in global illumination algorithms," In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH*, pp. 75-84, 1994.
2. D. Arques and S. Michelin, "Proximity radiosity: Exploiting coherence to accurate form factor computations," In *Proceedings of the Eurographics Workshop, Rendering Techniques '96*, pp. 143-152, 1996.
3. I. Babuska, O. C. Zinekiewicz, J. Gago and E. R. de A. Oliveira, Eds, *Accuracy Estimates and Adaptive Refinements in Finite Element Computations*, John Wiley & Sons, Chichester, 1986.

4. D. R. Baum, H. E. Rushmeier and J. M. Winget, "Improving radiosity solution through the use of analytically determined form-factors," *Computer Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 325-334, 1989.
5. P. Bekaert and Y. D. Willems, "Error Control for radiosity," In *Proceedings of the Eurographics Workshop, Rendering Techniques '96*, pp. 153-164, 1996.
6. M. F. Cohen, S. E. Chen, J. R. Wallace and D. P. Greenberg, "A progressive refinement approach to fast radiosity image generation," *Computer Graphics*, Vol. 22, No. 4, pp. 75-84, 1988.
7. M. F. Cohen and J. R. Wallace, *Radiosity and Realistic Image Synthesis*, Academic Press Inc., 1993.
8. S. Gibson and R. J. Hubbard, "Efficient hierarchical refinement and clustering for radiosity in complex environment," *Computer Graphics Forum*, Vol. 15, No. 5, pp. 297-310, 1996.
9. P. Hanrahan, d. Salzman, and L. Aupperle, "A rapid hierarchical radiosity algorithm," *Computer Graphics*, Vol. 25, No. 4, pp. 197-206, 1991.
10. S. J. Gortler, M. F. Cohen and P. Slusallek, "Radiosity and relaxation methods," *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 14, No. 6, pp. 48-48, 1994.
11. D. Lischinski, B. Smits, and D. P. Greenberg, "Bounds and error estimates for radiosity," In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH*, pp. 67-74, 1994.
12. I. Martin, X. Pueyo and D. Tost, "An image-space refinement criterion for linear hierarchical radiosity," In *Proceedings of Computer Graphics '97*, pp. 26-36, 1997.
13. N. Max, "Optimal sampling for hemicubes," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 1, No. 1, pp. 60-76, 1995.
14. G. W. Meyer, H. E. Rushmeier, M. F. Cohen, D. P. Greenber, and K. E. Torrance, "An experimental evaluation of computer graphics imagery," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 5, No. 1, pp. 30-50, 1986.
15. E. Novak, *Deterministic and Stochastic Error Bounds in Numerical Analysis*, Springer-Verlag, 1988.
16. E. Shaw, "Hierarchical radiosity for dynamic environment," *Computer Graphics Forum*, Vol. 16, No. 2, pp.

- 107-118, 1997.
17. F. X. Sillion, "A unified hierarchical algorithm for global illumination with scattering volumes and object clusters," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 1, No. 3, pp. 250-254, 1995.
 18. J. Stewart and S. Ghali, "Fast computation of shadow boundaries using spatial coherence and backprojections," In *Computer Graphics Proceeding, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH*, pp. 231-238, 1994.
 19. E. Stollnitz, T. Deroose and D. Salesin, "Wavelets for computer graphics: A primer, part 2," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No. 4, pp. 75-85, 1995.
 20. J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis*, Oxford University Press, 1982.
 21. T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, Inc., 1995
 22. T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of system and its applications to modeling and control," *IEEE Trans. SMC*, Vol. 3, pp. 116-132, 1988.
 23. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
 24. L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to analysis of complex systems and decision process," *IEEE Trans. SMC*, Vol. 3, pp. 28-44, 1973.
 25. R. R. Yager and L. A. Zadeh edited, *An introduction to fuzzy logical applications in intelligent systems*, Kluwer academic publishers, London, 1992.