УДК 519.172.1:.6/519.245/533.5

Т. Г. СМІЛА

НЕСТРУКТУРОВАНІ СІТКИ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ЧИСЛОВОМУ МОДЕЛЮВАННІ МЕТОДОМ ПРОБНИХ ЧАСТОК

Одним із ключових моментів при розв'язанні задач динаміки розрідженого газу є дискретизація розрахункової області. Особливо гостро проблема вдалого вибору типу сітки, що використовується, постає для статистичних методів, зокрема для методу пробних часток (МПЧ), оскільки їх ефективність напряму залежить від кількості проведених випробувань, а отже від витрачених ресурсів. Метою цієї статті є вивчення можливих топологічних відмінностей неструктурованих розрахункових сіток (РС) з метою класифікації й аналізу їх властивостей і особливостей використання. На підставі цього необхідно зробити вибір найбільш раціональної РС для розв'язання рівняння Больцмана МПЧ. Наведено найбільш популярні критерії, що використовуються для контролю якості неструктурованої РС у процесі її генерації. Зроблено класифікацію РС за формою чарунок, що використовуються, ступенем збігу вузлів сусідніх чарунок, типом ієрархічної організації й рівномірності геометричних параметрів. Зазначено переваги й можливі області застосування розглянутих типів сіток. Зроблено аналіз різних типів сіток з погляду їх застосовності до задач моделювання течій розрідженого газу МПЧ. Зроблено висновок, що для розв'язання цих задач очевидні переваги мають неструктуровані РС, оскільки вони дозволяють відповідно до вимог задачі легко варіювати розмір чарунок у межах розрахункової області. Оптимальними серед розглянутих РС будуть ієрархічно організовані структури з мінімальним рівнем вкладення, структуровані й рівномірні на кожному з рівнів. Кратність розбивки кореневих чарунок може бути змінною й залежати від параметрів локального режиму течії. Такі РС вдало поєднують основні переваги структурованих і неструктурованих сіток: високоефективний доступ до всіх елементів сітки, можливість локального згущення й, крім того, векторизації алгоритму для багатомірних задач. Результати роботи будуть використані при побудові робочих алгоритмів моделювання траєкторій руху молекул МПЧ, що дозволить більш ефективно здійснювати експертизу й супровід окремих проектів Національної космічної програми України.

Ключові слова: *метод пробних часток, неструктурована розрахункова сітка, ієрархічна організація, кратність розбивки кореневих чарунок.*

1. *Смелая Т. Г.* Выбор расчетной сетки при моделировании течений разреженного газа методом пробных частиц / *Т. Г. Смелая* // Техническая механика. – 2013. – № 1. – С. 45 – 60.
2. *Knupp P.* Algebraimesh quality metris / *P. Knupp* // SIAM J. Si. Comput. – 2001. – Vol. 23, N 1. – P. 193 – 218.
3. *Шайдуров В. В.* Многосеточные методы конечных элементов / *В. В. Шайдуров*. – М. : Наука, 1989. – 288 с.
4. *Parthasarathy V. N.* Comparison of Tetrahedron Quality Measures / *V. N. Parthasarathy, C. M.Graichen, A. F. Hathaway* // Finite Elements in Analysis and Design. – Elsevier, 1993. – N. 15. – P. 255 – 261.
5. *Lopez E.* Simultaneous untangling and smoothing of moving and fixed grids / *E. Lopez, N. Nigro, M. Storti* // Int. J. Numer : Meth. Engrg. – 2000. – N 10. – P. 1 – 6.
6. *Thopmson J. F.* Boundary-fitted coordinate systems for numerical solution of partial differential equations – a review / *J. F. Thopmson, Z. U. A. Warsi, C. W. Mastin* // J. Comput. Phys. – 1982. – Vol. 47. – P. 1 – 108.
7. *Jones M. E.* Electromagnetic PIC codes with body-fitted coordinates / *M. E. Jones* // Proc. 12th Int. Conf. on the Numerical Simulation of Plasmas. – 1984. – P. 27 – 28.
8. *Westermann T.* Numerical modelling of the stationary Maxwell–Lorentz system in technical devices / *T. Westermann* // International Journal of Numerical Modelling : Electronic Network, Devices and Fields. – 1994. – Vol. 7. – P. 43 – 67.
9. *Halter E.* A concept for numerical solution of the Maxwell–Vlasov system / *E. Halter, M. Krauss, C.-D. Munz* // Forschungszentrum karlsruhe - umwelt und technik umwelt und technik. – 1995. – 87 p.
10. *Prathap G.* Finite elements as computation / *G. Prathap*. – Bangalore : CMMMACS, 2001. – 116 p.
11. *Олейников А. И.* Влияние типа конечно-элементного представления при моделировании формообразования панелей из упругопластического материала / *А. И. Олейников, С. Н. Коробейников, К. С. Бормотин* // Вычисл. мех. сплош. сред. – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 63 – 73.
12. *Kopysov S. P.* Domain decomposition for parallel adaptive unite element algorithm / *S. P. Kopysov, A. K. Novikov* // Vestn. Udmurt. Univ. Mat. Mekh. Komp'yut. Nauki. – 2010. – N 3. – P. 141 – 154.
13. *Kopysov S. P.* Parallel algorithms of adaptive refinement and partitioning of unstructured grids / *S. P. Kopysov, A. K. Novikov* // Matematiheskoe Modelirovanie. – 2002. – Vol. 14, N. 9. – P. 91 – 96.
14. *Копысов С. П.* Анализ способов перестроения треугольных конечно-элементных сеток / *С. П. Копысов, А. К. Новиков* // Труды Матем. центра им. Н. И. Лобачевского. – Казань : Изд-во Казан. мат. об-ва, 2003. – Т. 20. – С. 170 – 180.
15. *Караваев А. С.* Перестроение неструктурированных четырехугольных и смешанных сеток / *А. С. Караваев, С. П. Копысов* // Вестник Удмурдского университета. Математика, механика, компьютерные науки. – 2013. – Вып. 4. – С. 62 – 78.

16. *Garimella R.* Conformal refinement of unstructured quadrilateral meshes / *R. Garimella* // 18th International Meshing Roundtable. – Springer-Verlag, 2009. – P. 31 – 44.
17. *Shneiders R.* Rening quadrilateral and hexahedral element meshes / *R. Shneiders* // 5th International Conference on Grid Generation in Computational Field Simulations. – 1996. – P. 679 – 688.
18. *Benek J. A.* Extended chimera grid embedding scheme with application to viscous – flows / *J. A. Benek, T. L. Donegan* // Computational Fluid Dynamics : 8th AIAA Conference : materials (9-11 June, 1987, Honolulu). – New York : AIAA, 1987. – P. 272 – 282.
19. *Samet H.* Implementing Ray Tracing with Octrees and Neighbor Finding / *H. Samet* // Computer and Graphics. – 1989. – Vol. 13, N 4. – P. 445 – 460.
20. *Samet H.* The Quadtree and Related Hierarhical Data Structures / *H. Samet* // ACM Comput. Surveys. – 1984. – Vol. 16, N 2. – P. 187 – 260.
21. *Samet H.* Computing Geometric Properties of Images Represented by Linear Quadtrees / *H. Samet, M. Tamminen* // IEEE Transaction on Patter Analysis and Machine Intelligenc. – 1985. – Vol. 7, N 2. – P. 229 – 240.
22. *Samet H.* Neighbor Finding Techniques for Images Represented Quadtrees / *H. Samet* // Computer Graphics and Image processing. – 1982. – Vol. 17, N 1. – P. 37 – 57.
23. *Burroughs P. A.* Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment / *P. A. Burroughs*. – Oxford : Clarendon Press, 1994. – 193 p.
24. *Samet H.* The Design and Analysis of Spatial Data Structures / *H. Samet*. – 1990. – 499 p.
25. Математика – Октодерево. – 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к документу : http://49l.ru/a/oktoderevo.
26. *Carlbom I. A* Hierarchical Data Structure for Representing the Spatial Decomposition of 3D Objects / *I. Carlbom, I. Chakravarty and D. Vanderschel* // Frontiers in Computer Graphics. – New York : Springer-Verlag, 1985. – P. 2 – 12.
27. *Данилов А. А.* Технология построения неструктурированных сеток и монотонная дискретизация уравнения диффузии : дис. … канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. / *Данилов Александр Анатольевич*. – М., 2002. – 215 с.
28. Автоматизированные технологии построения неструктурированных расчетных сеток / *Ю. В. Василевский, А. А. Данилов, К. Н. Липников, В. Н. Чугунов*. – М : Физматлит, 2013. – 133 с.
29. Разностные схемы на нерегулярных сетках / *А. А. Самарский, А. В. Колдоба, Ю. А Повещенко, В. Ф. Тишкин , А. П. Фаворский*. – Минск, 1996. – 276 с.
30. *Печерица Л. Л.* Построение оптимальных алгоритмов реализации метода пробных частиц в динамике разреженных газов / *Л. Л. Печерица, Т. Г. Смелая, Н. В. Петрушенко* // Современные проблемы динамики разреженных газов : IV-ая Всероссийская конференция : материалы (26 – 29 июля 2013 г.). – Новосибирск, 2013. – С. 164 – 166.
31. *Галанин М. П.* Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей : прямые методы / *М. П. Галанин, И. А. Щеглов*. – М., 2006. – 32 с. (Препринт / ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, № 10)
32. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкостей : в 2 т. / *К. Флетчер*. – М. : «Мир», 1991. – 1056 с.
33. *Галанин М. П.* Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей : итерационные методы / *М. П. Галанин, И. А. Щеглов*. – М., 2006. – 32 с. (Препринт / ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, № 9)
34. *Rubbert P.* Patched coordinate systems / *P. E. Rubbert, K. D. Lee* // Numerical Grid Generation / ed. by J.F. Thompson. – 1982. – P. 235 – 252.