

基于模糊集理论的MCM热分布算法研究

于亚婷, 杜平安

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

【摘要】基于模糊集理论,提出了MCM模糊热分布算法。算法中MCM的每个芯片受到芯片间的排斥力、基板边缘对芯片的吸引力及基板中心对芯片的吸引力三种视在作用力。通过模糊推理规则分析了这些力和芯片分布间的模糊关系。高度法解模糊化后,以三力之和最小时的芯片分布作为最佳芯片分布方案。利用有限元法验证了模糊热分布算法的有效性,并将仿真结果与采用四分法得到的结果比较,表明利用该算法得到的MCM热分布比采用四分法得到的热分布更合理、更稳定。

关键词 有限元法; 模糊集理论; 多芯片组件; 四分法; 热分布算法
中图分类号 TP301.6; TP391.9 **文献标识码** A

Study of Multi-Chip Module Thermal Placement Algorithm Based on Fuzzy Set Theory

YU Ya-ting and DU Ping-an

(School of Mechatronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract An algorithm based on the fuzzy set theory for the placement of chips on multi-chips modules (MCM) substrate is presented. In this algorithm, any chip in MCM is suffered three apparent forces: the repulsive force between chips, the attractive force between substrate boundaries and chip, and the attractive force between substrate and substrate center. The fuzzy relationships between the forces and the placement of chips are analyzed by the fuzzy inference rules. After defuzzification by the height method, the optimal placement of chips is obtained, in which the resulting apparent force is minimized. Finally, the validity of the algorithm is verified by FEM. Furthermore, the results from the fuzzy thermal placement algorithm are compared with those from the quadrisection placement method. It shows that the chip placement obtained by the fuzzy thermal placement algorithm is more reasonable and robust than that by the quadrisection placement method.

Key words finite element method; fuzzy set theory; multi-chips modules; quadrisection placement method; thermal placement algorithm

为了适应电子整机向小型化、多功能化、高速化等方向的发展趋势,以多芯片组件(multi-chips-modules, MCM)为代表的微组装技术向高组装密度、小型化、高可靠性等方向发展^[1]。高组装密度、小型化及IC集成度的不断提高,使MCM功率密度和热阻增加。由阿伦尼斯方程可知,元器件的失效率与其结温呈指数关系,性能随结温升高而降低。同时,随着MCM内部温度的升高,各种材料因热膨胀系数不同而产生的热应力也导致MCM发生焊料疲劳、芯片破裂、氧化铝基板破裂等热失效。

通常采用两种方法提高MCM的热可靠性^[2]:

(1) 合理设计MCM结构和散热器,使MCM产生的热量有效地逸散到周围环境中;(2) 合理分布MCM芯

片,避免大功率芯片过分集中,消除或减弱基板表面的过热点。

传统的芯片分布方法根据布线长度最小获得最佳芯片分布,对MCM的电气、热和力学性能影响很大^[3]。四分法是MCM中常用的另一种芯片分布方法,但其随意性大,与工程师的经验有很大关系。

本文在上述两种方法的基础上,提出了一种基于模糊集理论的MCM热分布算法(简称模糊热分布算法)。

1 模糊热分布算法

1.1 MCM芯片分布与其热分布的关系

基于模糊逻辑,本文提出在MCM热分布中存在

三种视在作用力,如图1所示。(1) 芯片间的排斥力 R 。若MCM基板上芯片过分集中,会产生过热点,致使MCM发生热失效。因此,芯片间存在一种排斥力,促使大功率芯片相距较远,使MCM热分布更合理。这种排斥力与芯片功率和芯片间距有关。间距越大,排斥力越小;芯片功率越大,排斥力越大。(2) 基板边缘对芯片的吸引力 A_1 。MCM中生成的热量通过对流或辐射传递到周围环境中,因此基板边缘对芯片特别是大功率芯片具有一种吸引力,它促使大功率芯片向基板边缘分布。这种吸引力与芯片中心到基板边缘的距离和基板边缘的热交换(对流、辐射等)情况有关。在基板边缘换热条件一定时,芯片距离基板边缘越远,吸引力越大;反之越小。(3) 基板中心对芯片的吸引力 A_2 。 R 和 A_1 都促使芯片向基板四角分布,致使基板四角温度高,中心温度低。在相同条件下,当基板上只有一个芯片时,其越靠近基板中心,基板热分布越均匀,如图2所示。由此可认为基板中心对芯片具有一种吸引力,与芯片中心到基板中心的距离及芯片的功率有关。距离越大,吸引力越大;芯片功率越大,吸引力越小。

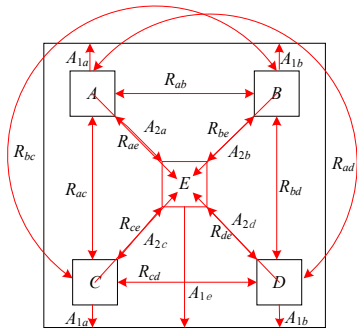


图1 MCM芯片热分布中的作用力

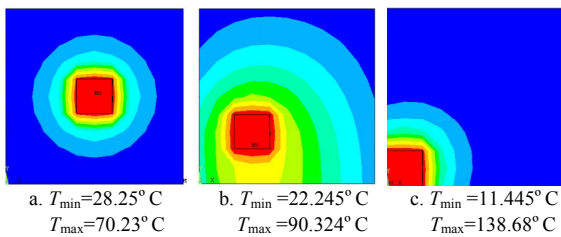


图2 芯片在基板上分布位置对其热分布的影响

1.2 模糊化

模糊输入量和输出量通过隶属度函数转化为模糊量。在模糊集理论中,隶属度函数定义为:设 U 为论域,则 U 上的一个模糊集合 A 由 U 上的一个实值函数表示为^[4]:

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \quad \mu \mapsto \mu_A(u)$$

对于 $u \in U$, 函数值 $\mu_A(u)$ 称为 u 对 A 的隶属度, 函数 μ_A 称为 A 的隶属函数。

在本文的模糊热分布模型中,语言变量为芯片间距 D 、芯片与基板边缘的最小距离 D_1 和芯片与基板中心的距离 D_2 、芯片间排斥力 R 、基板边缘对芯片的吸引力 A_1 和基板中心对芯片的吸引力 A_2 。 D 、 D_1 、 D_2 为模糊输入量, R 、 A_1 、 A_2 为模糊输出量。由于三角形和梯形隶属度函数求解效率高,所以 D 、 D_1 、 D_2 、 R 、 A_1 和 A_2 的隶属度函数选用三角形和梯形隶属度函数,如图3所示。模糊集为 $A = \{PT; PS; PM; PL; PH\}$, 五个模糊语言值分别为PT正向极小、PS正向小、PM正向一般、PL正向大和PH正向极大。

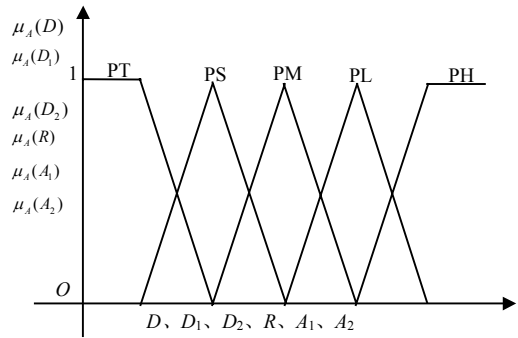


图3 模糊集和语言变量 D 、 D_1 、 D_2 、 R 、 A_1 和 A_2 所对应的隶属度函数

1.3 模糊推理规则

模糊推理规则用于实现前提论域模糊子集 D 、 D_1 、 D_2 到结论论域模糊子集 R 、 A_1 、 A_2 的映射,一般通过IF-THEN语句表达,也可写成模糊状态表形式。模糊输入量和输出量遵循的模糊规则如表1所示。

表1 模糊状态表

论域	模糊语言值				
D	PT	PS	PM	PL	PH
R	PH	PL	PM	PS	PT
D_1	PT	PS	PM	PL	PH
A_1	PT	PS	PM	PL	PH
D_2	PT	PS	PM	PL	PH
A_2	PT	PS	PM	PL	PH

1.4 解模糊化

解模糊化(也称反模糊化)是将模糊推理得到的模糊量转化为精确量的过程。常用方法有最大隶属度法、最小隶属度法、高度法(加权平均法)和取中位数法等^[5]。高度法是最简单、快速的解模糊化方法,故本文采用高度法解模糊化,即有^[6]:

$$\mu' = \sum_{i=1}^n c^i f_i / \sum_{i=1}^n f_i$$

式中 n 为规则数; c^i 为相应隶属度函数的峰值; f_i 为相应模糊集的高度。

由于芯片间排斥力的高度法解模糊化函数和 Z

函数相近, 所以其解模化函数用Z函数近似; 而基板边缘和基板中心对芯片吸引力的解模糊函数用S函数近似。关于 $Z(D, l, m, n)$ 和 $S(D, l, m, n)$ 函数的相关内容参见文献[7]。

2 算法实现

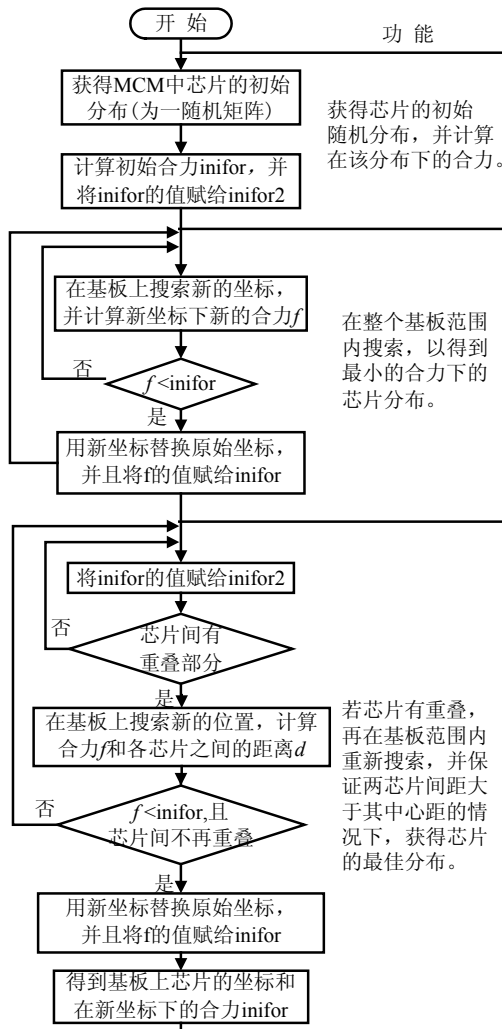


图4 模糊热分布算法流程图

在MCM中芯片的任一分布下, 其他芯片对*i*芯片生成的合力为:

$$F_i = \sum_{j=1}^N (R_{ij}) + A_{1i} + A_{2i} \quad (1)$$

式中 $R_{ij} = f(p_i, p_j)Z(D, l, m, n)$; $A_{1i} = f_1(p_i)S(D_1, l_1, m_1, n_1)$, $A_{2i} = f_2(p_i)S(D_2, l_2, m_2, n_2)$; p_i 为*i*芯片功率。在该分布下生成的合力为:

$$F = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N (R_{ij}) + A_{1i} + A_{2i} \right) \quad (2)$$

当芯片无重叠且合力最小时, 即获得了芯片的最佳分布。算法通过matlab实现, 流程如图4所示; 得到的芯片分布如图5所示。图中, 1~8芯片功率分

别为2.5 W、2.5 W、2.0 W、1.8 W、1.5 W、1.5 W、1.2 W和1.2 W。

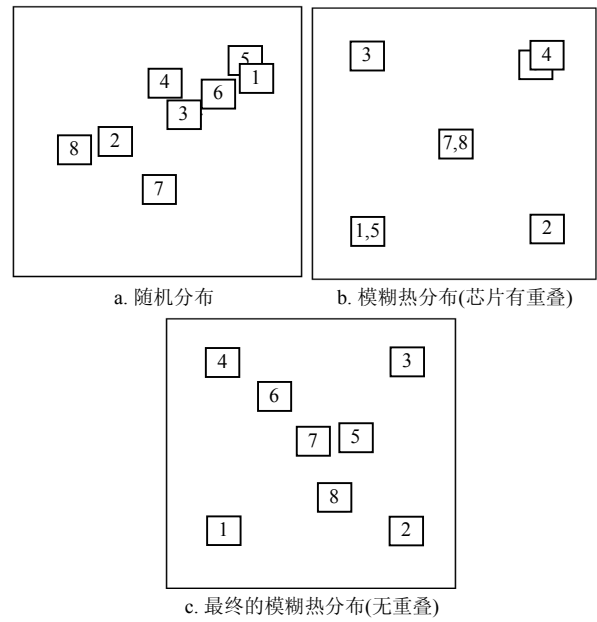


图5 MCM中芯片分布图

3 算法的仿真实验

有限元法可针对任意复杂的工程问题进行求解, 给出满意的结果, 可代替和部分代替实物实验, 因此在MCM热分析中得到了广泛的应用^[1-2,8-10]。本文通过模糊热分布算法得到MCM芯片分布, 然后利用有限元仿真获得MCM的热分布, 并将仿真结果与采用四分法得到的结果进行了比较。

在本文的算例中, 基板尺寸为110 mm×110 mm×5 mm, 材料为2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂, 导热系数为2.5 W/m·°C; 芯片尺寸为10 mm×10 mm×0.65 mm; 材料为Si, 其导热系数为82 W/m·°C; 基板底部与空气的边界为绝热边界, 其他面和基板的对流换热系数为1.5 W/m²·°C, 空气温度为室温(20°C); 各芯片功率如图5所示。

四分法根据芯片功率来确定芯片在基板上占有的面积。因此, 芯片功率越大, 在基板上占有的面积也越大, 得到的芯片分布如图6所示。

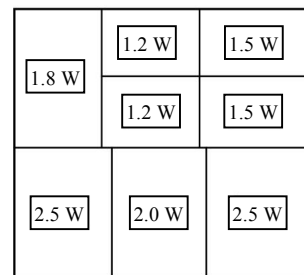


图6 四分法得到的MCM芯片分布图

通过有限元仿真得到采用模糊热分布算法和四分法时MCM热分布,其温度和梯度分布如图7所示。

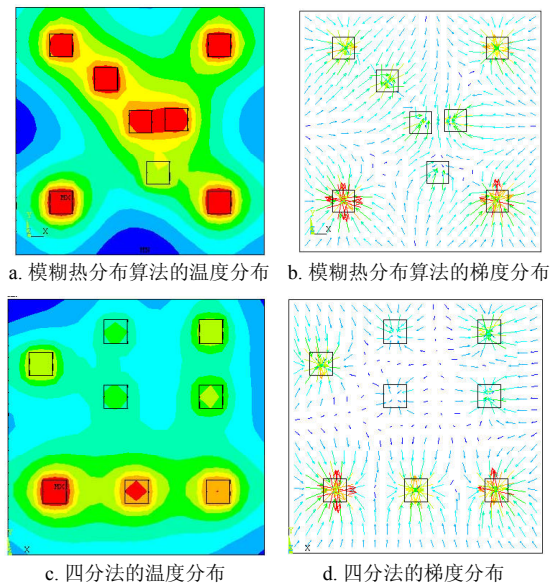


图7 有限元法得到的MCM温度分布图

由图7可知,采用模糊热分布算法得到的MCM热分布中,除8号芯片外,其他芯片均已达到最高温度;而在采用四分法得到的结果中,只有较大功率的芯片温度达到最高,其他的芯片均未达到最高温度。两种分布下得到的MCM热分布结果如表2所示。

表2 两种分布得到的热分布结果比较

分布方法	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\min}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{err}}/^{\circ}\text{C}$	G_{\max}	G_{\min}
模糊热分布算法	290.9	267.0	23.9	1 530	37.5
四分法	295.3	266.5	28.8	1 568	74.6

由表2可知,采用模糊热分布算法得到的MCM的最高温度低于采用四分法得到的最高温度,最低温度高于采用四分法得到的最低温度;同时温度的最大和最小梯度值均小于采用四分法得到的相应梯度值,即采用模糊热分布算法得到的MCM温度分布更均匀、更合理。在相同条件下,采用该算法得到的芯片分布可大大提高MCM的性能和可靠性。

4 结束语

随着MCM封装密度的不断提高,合理分布芯片已成为提高MCM可靠性的途径之一。根据MCM热分布特点,本文提出了MCM芯片模糊热分布算法。采用模糊推理规则分析了这些作用力和芯片分布间的模糊关系,并对芯片间的排斥力、基板边缘对芯片的吸引力和基板中心对芯片的吸引力分别采用Z函数、S函数和S函数对其解模糊化后,得到芯片的最佳分布。采用有限元法对MCM模糊热分布算法进行仿真验证,并将计算结果与采用四分法得芯片分布结果进行了比较,结果表明采用基于模糊集理论的热分布算法不受人为因素的影响,稳定性更高。

参 考 文 献

- [1] 蒋明, 胡永达, 杨邦朝, 等. 有限元热分析法在大功率多芯片组件中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(3): 410-411.
- [2] 杨桂杰, 杨银堂, 李跃进. 多芯片组件热分析技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2003, (7): 78-80.
- [3] HUANG Yu-jung, FU Shen-li, JEN Sun-lon, et al. Fuzzy thermal modeling for MCM placement[J]. Microelectronics Journal, 2001, (32): 863-868.
- [4] 陈水利, 李敬功, 王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] 王海江, 陈瑾, 徐卫忠. 基于Matlab编程方法实现模糊推理及解模糊的方法研究[J]. 现代电子技术, 2004, 190(23): 43-47.
- [6] LEEKWIJCK W V, KERRE E E. Defuzzification: criteria and classification[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, (108): 159-178.
- [7] 黄洪钟. 机械设计模糊优化原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [8] 程迎军, 罗乐, 蒋玉齐, 等. 多芯片组件的散热三维有限元分析[J]. 电子元件与材料, 2004, 35(4): 43-45.
- [9] 魏顺宇, 李志国, 程尧海, 等. 多芯片组件的三维温场有限元模拟与分析[J]. 微电子学, 2005, 35(4): 371-374.
- [10] 秦向南, 杨平, 沈才俊, 等. 多芯片组件的热三维有限元模拟与分析[J]. 电子元件与材料, 2007, 26(9): 10-13.

编辑 黄 莘