



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I498073 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 08 月 21 日

(21)申請案號：099125619

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 08 月 02 日

(51)Int. Cl. : H05K7/20 (2006.01) G06F1/20 (2006.01)

(30)優先權：2009/08/12 美國 12/540,034

(71)申請人：萬國商業機器公司 (美國) INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：哈曼亨德里克 F HAMANN, HENDRIK F. (DE)；洛佩茲馬雷羅瓦內薩 LOPEZ-MARRERO, VANESSA (US)；史迪潘恰克安德魯 STEPANCHUK, ANDREW (UA)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

TW I281608

US 2008/0174954A1

審查人員：黃雲斌

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：13 共 64 頁

(54)名稱

用於在一空間中模型化溫度帶之方法、電腦程式產品與裝置

METHOD, COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND APPARATUS FRO MODELING THERMAL ZONES IN A SPACE

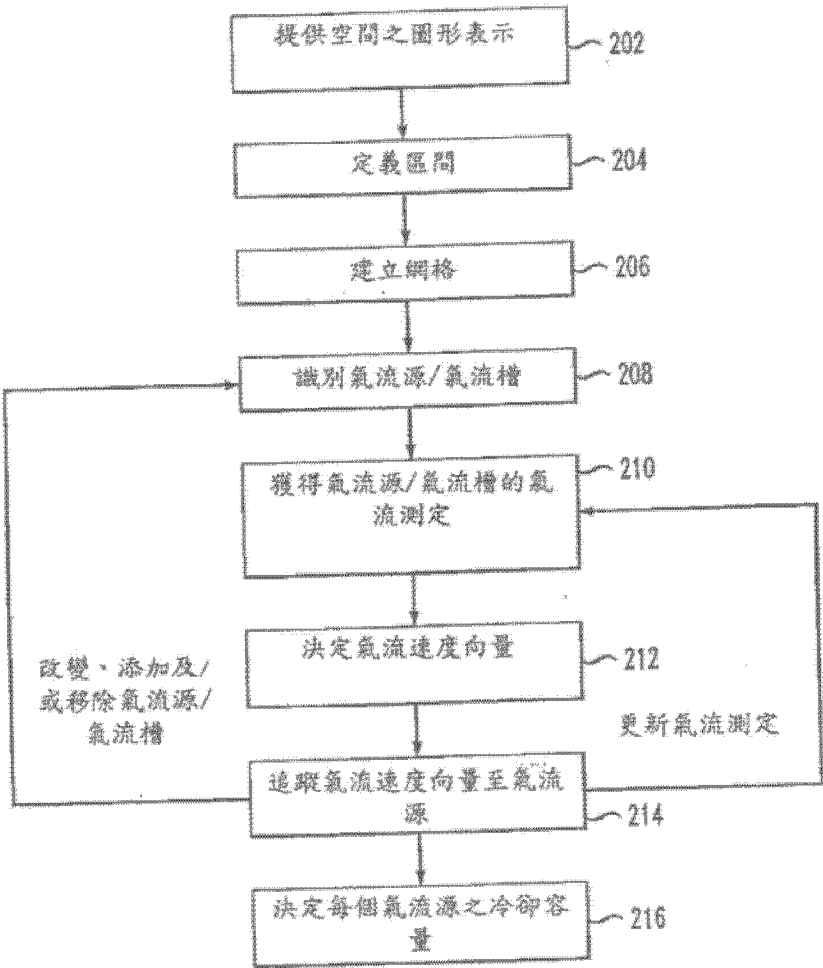
(57)摘要

提供用於使用氣流分析以模型化溫度帶之技術。在一態樣中，一種用於在一空間中(例如，在一資料中心中)模型化溫度帶之方法包括以下步驟。提供該空間之一圖形表示。在該空間中界定至少一個區間(domain)以用於模型化。藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立一網格(mesh)，該等子區間將複數個節點互連。在該區間中識別氣流源(source)及氣流槽(sink)。自該等氣流源及氣流槽之一或多個獲得氣流測定。使用自該等氣流源及氣流槽中獲得的該等氣流測定，以決定在每個子區間之一中心之一氣流速度向量。追蹤每個速度向量至該等氣流源之一，其中至該等氣流源之一給定氣流源的該等跡線之一組合代表該空間中之一溫度帶。

Techniques for using air flow analysis to model thermal zones are provided. In one aspect, a method for modeling thermal zones in a space, e.g., in a data center, includes the following steps. A graphical representation of the space is provided. At least one domain is defined in the space for modeling. A mesh is created in the domain by sub-dividing the domain into a set of discrete sub-domains that interconnect a plurality of nodes. Air flow sources and sinks are identified in the domain. Air flow measurements are obtained from one or more of the air flow sources and sinks. An air flow velocity vector at a center of each sub-domain is determined using the air flow measurements obtained from the air flow sources and sinks. Each velocity vector is traced to one of the air flow sources, wherein a combination of the traces to a given one of the air flow sources represents a thermal zone in the space.

第 2 圖

200



- 200 . . . 方法
- 202 . . . 步驟
- 204 . . . 步驟
- 206 . . . 步驟
- 208 . . . 步驟
- 210 . . . 步驟
- 212 . . . 步驟
- 214 . . . 步驟
- 216 . . . 步驟

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於氣流分析，且更特定言之，係關於在一空間中（諸如在一資料中心中）使用氣流分佈來模型化溫度帶之技術。

【先前技術】

能量消耗已經成為大規模計算設施（或資料中心）之關鍵性問題，其由能量成本的上升、能量的供需及耗電量大的資訊及通訊技術（ICT）裝備的增加觸發。資料中心消耗佔世界總電量的約百分之二（2%）或 1830 億千瓦（KW）小時的電力；該電力消耗以每年 12% 的速率增長。大部分的電力消耗，亦即高達 50% 之電力消耗係用於冷卻熱產生裝備。因此，改良資料中心之能量效率及冷卻效率非常重要。雖然最佳實務已經被廣泛公開，資料中心操作者仍努力規範適當的冷卻量。詳言之，考慮在資料中心內不同的熱密度（亦即，資料中心內的不同區域可要求完全不同的冷卻量）係具挑戰性的。

因此，用於強調資料中心內熱密度，從而增加冷卻效率之技術將為所要的。

【發明內容】

本發明提供用於使用氣流分佈以模型化溫度帶之技術。在本發明的一態樣中，提供了在一空間中（例如，在資料中心中）用以模型化溫度帶之方法。該方法包括

以下步驟。提供該空間之圖形表示。在該空間中界定至少一個區間以用於模型化。藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立網格，該等子區間使複數個節點互連。在該區間中識別氣流源及氣流槽。自一或多個氣流源及氣流槽中獲得氣流測定。使用自氣流源及氣流槽中獲得的氣流測定，以決定在每個子區間中心之氣流速度向量。追蹤每個速度向量至一氣流源，其中至一給定的氣流源之該等跡線的組合代表該空間中之溫度帶。

參考以下詳細描述及圖式將獲得對本發明更完全的理解以及本發明之進一步特徵及優點。

【實施方式】

本文呈現了用於動態地建立及視覺化溫度帶之技術，其允許對於資料中心冷卻之更佳的規範及更有效率的使用。值得注意的是，雖然在資料中心之冷卻系統之上下文中描述瞬時技術，但是本文呈現之概念通常適用於一般冷卻系統及/或加熱系統。

第 1 圖係圖示示例性資料中心 100 之圖。資料中心 100 具有伺服器機架 101 及帶有空氣調節單元 (Air Conditioning Units, ACUs) 102 (其亦可稱為電腦室空氣調節機 (Computer Room Air Conditioners, CRACs)) 之高架地板冷卻系統，該等空氣調節單元吸收熱空氣 (通常自上方吸收熱空氣，在 ACU 中經由一或多次回氣) 並

將經冷卻空氣排入下層的底板風管(sub-floor plenum)。穿過資料中心 100 之熱氣流係由白色箭頭 110 指示，且穿過資料中心 100 之經冷卻氣流係由黑色箭頭 112 指示。在以下描述中，在底板風管上方之資料中心亦可簡稱為高架地板，且底板風管可簡稱為風管。因此，僅為舉例，如第 1 圖所示，ACUs 自高架地板吸入暖空氣並將經冷卻空氣排入風管（參見下文）。

在第 1 圖中，伺服器機架 101 使用由前至後的冷卻，且係位於高架地板 106 上，高架地板 106 下方具有底板 104。亦即，根據該方案，經冷卻空氣係經由每個機架之前方（入口）吸入，且暖空氣係自每個機架之後方（出口）排出。吸入機架前方之經冷卻空氣係供應給其中每個資訊技術（Information Technology, IT）裝備組件（例如，伺服器）之空氣入口。高架地板 106 與底板 104 之間的空間界定底板風管 108。底板風管 108 充當導管以自 ACU 102 傳送（例如）經冷卻空氣至機架。如第 1 圖所示，高架地板 106 由複數個地磚組成，其中一些地磚係經穿孔的。在經過適當組織的資料中心（諸如資料中心 100）中，機架 101 經安置於一熱通路-冷通路組態中，亦即，在交替方向具有空氣入口與排氣出口。亦即，在高架地板 106 中，經冷卻空氣經吹送穿過穿孔地磚 114（亦稱作通氣孔），自底板風管 108 進入冷通路內。隨後將該經冷卻空氣經由機架空氣入口側上之空氣入口吸入機架 101，並經由機架排氣出口側上之排氣出口傾倒出，

並進入熱通路內。

ACU 通常自一冷凍冷卻器裝置(未圖示)接收冷卻水。每個 ACU 通常包含一鼓風馬達，該鼓風馬達使空氣循環穿過 ACU，並將經冷卻空氣吹送入(例如)底板風管內。同樣地，在大部分資料中心中，ACU 為簡單的熱交換器，該等熱交換器主要消耗吹送經冷卻空氣進入底板風管內所需的電力。通常，存在一或多個電力分配單元(Power Distribution Units, PDUs)(未圖示)以將電力分配至伺服器機架 101。

最佳化 ACU 之效率為重要的。參見(例如)Hamann 等人，「Uncovering Energy-Efficiency Opportunities in Data Centers」，IBM 研究發展期刊，2009 年第 53 卷，第 3 期(在下文中簡稱「Hamann」)，其內容以引用之方式併入本文。為此，考慮 ACU 之利用水準(亦即，利用率(Utilization, UT)=熱移量/標稱熱負載移除容量)或效能係數(Coefficient of Performance, COP)($COP = \text{熱移量} / \text{ACU 風機之電力消耗量}$)為有利的。在一些資料中心中 ACU 之利用水準已經顯示為低至 10%($COP \sim 1.8$)。然而，若使用效率最佳化規範，則利用水準可分別在大概約 80%至約 100%之範圍內(甚至具有一些冗餘)，其中相應的 COP 為約 14 至約 18。大部分資料中心要求一些冗餘。舉例而言，在具有八個 ACU 之資料中心中，冗餘允許一 ACU 故障(例如歸因於機械故障)。因此，實質上目標利用水準不可為 $7/8$ (87.5%)，因為隨後將沒有

N+1 冗餘 (N=8)。

最佳化 ACU 使用的抑制因素之一為缺乏能見度，亦即，不能辨別在一資料中心中不同的 ACU 將經冷卻空氣供應至何實體區域或實體帶。溫度帶為資料中心內之實體區域（二維（2D））或容積（三維（3D））。每個 ACU 將空氣供應至資料中心內之一特定溫度帶，該特定溫度帶在本文亦可稱作「供應帶」且通常應用於風管。每個 ACU 亦自資料中心中之一特定溫度帶獲得回風，該特定溫度帶在本文亦可稱作「回風帶」且通常應用於高架地板。

具有 50 個以上的 ACU 隨機分佈在全資料中心空間中的資料中心為常見的。源於每個 ACU 的溫度帶（供應帶及/或回風帶）不僅受每個 ACU 產生的氣流控制，而且受整個資料中心之通氣孔或穿孔地磚的佈置控制（因為該等通氣孔或穿孔地磚至少部分地指向資料中心中來自 ACU 之空氣指向之處，參見下文）。具有 1,000 個以上通氣孔或穿孔地磚的資料中心為常見的。因為此等溫度帶係基於每個 ACU 之實際氣流分佈，所以可指派相應的效率或效能係數（COP）至每個各別 ACU 之每個溫度帶。整個資料中心之氣流分佈係由許多態樣控制。藉由對風管應用帶概念，本發明之技術在資料中心中使用最簡單形式之氣流分佈。ACU 使用風機將空氣排入風管內且因此風管為加壓的。通氣孔或穿孔地磚之佈置控制空氣在高架地板上逸出風管之處。通氣孔/穿孔地磚之佈置決定

了帶（亦即，相應的 ACU 供應相應的區域）。

本文揭示了用於模型化該等溫度帶之技術，亦即，建立及視覺化該等溫度帶。如下文將進一步詳細描述，使用一速度場以界定（亦即，建立）該等溫度帶（亦即，該等帶並未預先界定，且因此必須建立該等帶）。建立/界定該等帶係本發明之技術之一重要態樣，因為其提供了決定每個 ACU 使用之有效程度的途徑（經由 COP 量測）。第 2 圖係圖示用於在一空間中（例如，在一室內，諸如資料中心 100 中）模型化溫度帶之示例性方法 200 之圖。在步驟 202 中，提供了該空間之一圖形表示。舉例而言，在第 4 圖中提供了一資料中心之一個二維圖形表示，如下所述。在資料中心之狀況下，圖形表示可包括（例如）伺服器機架、通氣孔或穿孔地磚及 ACU 之佈局。該圖形表示可使用一軟體應用程式來建立，該軟體應用程式「繪畫」諸如伺服器機架之資產。該軟體應用程式之一實例為行動管理技術軟體應用程式（其係用以建立第 4 圖所示之圖形表示）。

在步驟 204 中，在空間中界定至少一個用於模型化溫度帶的區間。每個區間可為一個二維區間或一個三維區間。如下文將描述，在一示例性實施例，其中該資料中心正被模型化，該區間由底板風管之尺寸界定。如下文將描述，對於一給定空間可界定一個以上的區間。取決於特定應用，諸如應用本發明之技術的空間實體佈局，該或該等區間可包含整體空間或其一部分。

在步驟 206 中，因為正使用有限元素以模型化空間，所以藉由將每個區間再分為一組分散的子區間，以在每個區間中建立一有限元素網格，其使複數個節點互連。如下文將描述，子區間（在本文亦稱作「元素」）可為三角形（在二維區間之狀況下）或四面體（在三維區間之狀況下）。在有限元素方法中使用三角形及四面體為標準選擇。節點與 x 坐標及 y 坐標（在二維區間之狀況下）相對應，或與 x 坐標、y 坐標及 z 坐標（在三維區間之狀況下）相對應。

在步驟 208 中，在區間中識別氣流源（氣流進入區間處）及氣流槽（氣流離開區間處）。藉由參考資料中心，當區間包括底板風管時，穿孔地磚可視為氣流槽（因為在穿孔地磚處，由 ACU 供應之經冷卻空氣離開底板風管並進入高架地板）且 ACU 可視為氣流源（因為氣流自 ACU 產生/進入底板風管）。另一方面，當區間包括高架地板時，穿孔地磚可視為氣流源（因為在穿孔地磚處，來自風管之經冷卻空氣進入高架地板）且 ACU 可視為槽（因為暖空氣循環回 ACU 並因此在 ACU 處離開高架地板）。

在步驟 210 中，自一或多個氣流源及氣流槽獲得氣流測定。根據一示例性實施例，該等氣流測定係使用行動量測技術（Mobile Measurement Technology, MMT）而獲得。MMT 在（例如）頒予 Hamann 等人、標題為「Method and Apparatus for Three-Dimensional Measurements」之

美國專利第 7,366,632 號（下文簡稱「美國專利第 7,366,632 號」）中描述，其內容以引用之方式併入本文。MMT V1.0 為用於最佳化資料中心基礎架構以獲得改良的能量及空間效率之技術，其涉及用於快速量測/測勘資料中心之高級度量技術（參見（例如）美國專利第 7,366,632 號），與在一給定的溫度範圍內最佳化資料中心以獲得最佳空間利用率及最有效能量利用率的基於度量之評估及基於資料之最佳實務實施（參見（例如）由 Claassen 等人提出申請的、標題為「Techniques for Analyzing Data Center Energy Utilization Practices」、表示為代理人參考號 YOR920070242US1 之美國專利申請案第 11/750,325 號，其內容以引用之方式併入本文）之組合。

在步驟 212 中，使用自氣流源及氣流槽中獲得的氣流測定，以在每個子區間（元素）之中心決定氣流速度向量。在下文詳細描述了使用勢流理論 (potential flow theory) 以決定該等氣流速度向量的程序之示例性程序。

在步驟 214 中，追蹤每個速度向量至該等氣流源之一者。藉由參考一資料中心模型，在該模型中區間包含底板風管，可追蹤每個速度向量至一特定 ACU。下文詳細描述了用於追蹤速度向量之一示例性程序。至諸氣流源中之一給定氣流源（例如，ACU）的跡線之組合代表空間中之一溫度帶。在第 10 圖展示了（例如）示例性溫度帶，如下所描述。

如第 2 圖所示，可重複方法 200 之步驟 208 至步驟 214 以回應在一或多個源/槽處的氣流之改變、將一或多個新的源/槽添加入區間、及/或自區間移除之一或多個源/槽。舉例而言，藉由參考一資料中心，可增加或減少在一或多個通氣孔或穿孔地磚處之氣流及/或可重新安置或移除一或多個通氣孔或穿孔地磚。如下文將詳細描述，有利的是，只要區間/有限元素網格不改變，則可在節約處理時間之方法之後續疊代中再循環該等元素。

每次重複以上描述的步驟時，可自氣流源及氣流槽獲取更新的氣流測定（若可用），從而使瞬時技術對空間內情況之改變敏感。僅舉例而言，可週期性地重複步驟 210 至步驟 214（例如，在一預定時間間隔），以獲取更新的氣流測定資料。例如，可基於更新的測定資料可用之頻率及/或基於空間內改變發生之頻率來設置預定時間間隔。

在步驟 216 中，為每個氣流源決定冷卻容量。舉例而言，參考資料中心模型化，可決定每個孔或穿孔地磚之冷卻容量。在下文詳細描述用於決定冷卻容量之示例性程序。

如以上所強調，在一示例性實施例中，勢流理論係用於假設恆定（與溫度無關）的空氣密度，自由滑過邊界且可忽略黏滯力（viscous force）。勢流理論之一般性描述參見（例如）L.D. Landau 等人，「Fluid Mechanics」，培格曼出版公司（1959 年），其內容以引用之方式併入本

文。

因為空氣速度 $v=(v_x, v_y, v_z)$ 經假設為無旋的，亦即，旋度 $v=0$ ，所以可將該速度作為純量函數 ϕ 之梯度。此函數 ϕ 稱作「速度（或氣流）勢能」且其滿足帕松方程式（Poisson equation）。換言之，該（空氣）速度場與以下方程式之解相對應：

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right) = f \quad (1)$$

$$v_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad v_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2)$$

該等方程式之解具有適當的邊界條件。此處， f 代表氣流源或氣流槽，且 v_x 、 v_y 及 v_z 分別為 x 方向、 y 方向及 z 方向上的速度分量。值得注意的是，其他更有理解力的偏微分方程式（Partial Differential Equations, PDEs）可根據本發明之技術使用，其可包括亂流模型及亂流消散。

為了提供上述問題之邊界條件，可（例如）模型化通氣孔或穿孔地磚（或 ACU 之輸出）作為「源」（ $\frac{\partial \phi}{\partial z} =$ （經量測的）自穿孔地磚之輸出速度），模型化至 ACU 之迴路作為「槽」（ $\phi=0$ ），而機架同時為槽（ $\frac{\partial \phi}{\partial x} =$ （經量測的）入口機架流速）及源（ $\frac{\partial \phi}{\partial x} =$ （經量測的）出口機架流速）。如上所述，源及槽可取決於區間而變化（例如，當區間包括底板風管時，穿孔地磚及 ACU 可分別被視為槽及源；另一方面，當區間包括高架地板時，穿孔地磚及 ACU

可分別視為源及槽)。另一替代性方案為經由方程式 1 之一非零之右側 f 以模型化源及槽。若源或槽位於 PDE 之解區間之邊界上，則前者方法為適當的（因為其對應紐曼邊界條件（Neumann boundary conditions）之規格）。對於位於解區間內（亦即，不在邊界上）之源或槽，經由方程式 1 之一非零之右側 f 以模型化將更為適合。

本文實施一有限元素解算器以計算氣流勢能。對於有限元素方法之標準參考，參見 T.J.R. Hughes, 「The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis」，第 1 章，多佛出版社（Dover Publications）（2000 年）（最初在 1987 年由普連提斯霍爾出版社（Prentice-Hall）出版），其內容以引用之方式併入本文。本發明之技術之一示例性實施以 C 程式語言編寫完成，其按照 Matlab 中的一些類似的有限元素實施（J.Alberty. 等人，「Remarks Around 50 Lines of Matlab: Short Finite Element Implementation」，數值演算法 20，第 117 頁至第 137 頁（1999 年），（在下文簡稱「Alberty」），其內容以引用之方式併入本文）。

該解算器要求網格之規格，網格由特定區間內之一組節點組成，同時三角形（對於二維區間）或四面體（對於三維區間）連接該等節點。如以上所強調，三角形（或四面體）在本文亦稱作網格之元素。節點在二維區間中對應 (x,y) 坐標（或在三維區間中對應 (x,y,z) 坐標）。有限元素網格之一實例圖示於第 3 圖中。亦即，第 3 圖為圖

示一示例性有限元素網格 300 之圖，該有限元素網格 300 包括二維區間中之一組九個節點及八個元素。八個元素 E 之每一個及相應的節點之檢索表提供於網格右邊。

由方程式 1 探求之一近似解，

$$\phi \approx \sum_{i=1}^N \hat{\phi}_i \Psi_i \quad (3)$$

該近似解為 N 基底函數 ϕ_i 之線性組合， $i=1, \dots, N$ 。使 $\bar{x}_j$ 表示網格中第 j 個節點，則基底函數經選擇使得若 $i=j$ ，則 $\Psi_i(\bar{x}_j)=1$ ，且否則 $\Psi_i(\bar{x}_j)=0$ 。此為典型的有限元素近似解且具有以下優點：方程式 3 之線性組合中之係數 $\hat{\phi}_i$ 亦對應第 i 個節點之解之近似值。如在 Alberty 中，片段線性基底函數可用於求方程式 1 之近似解。又，此為有限元素近似解中之標準選擇。對具有適當邊界條件之方程式 1 應用蓋勒肯有限元素離散化 (Galerkin finite element discretization) 之後，獲得一線性方程式組，

$$A\hat{\phi} = b. \quad (4)$$

對熟習此項技術者而言，對方程式 1 應用蓋勒肯有限元素離散化以產生方程式組 4 的程序將為顯而易見，且因此本文中未進一步描述。方程式 4 之解 $\hat{\phi}=(\hat{\phi}_1, \dots, \hat{\phi}_N)$ 提供在有限元素網格之節點處之氣流勢能 ϕ 的近似解。由於關注於獲得勢能之梯度，因為該梯度在方程式 2 中定義了速度場，故一旦解出線性方程式組 4，則可自方程式 3 與方程式組 4 之解 $\hat{\phi}$ 的線性組合中獲得梯度 ϕ 之近似數

值。如方程式 2 中所定義，該近似數值提供了氣流場。然而，歸因於基底函數之選擇，獲得網格節點上之梯度之近似值並無意義的。實情為，每個元素內部點上的近似值為有效的。每個元素之中心可以被選為方便的及標準的坐標點，亦即，在該等點上求速度場之近似值。如下所述，隨後可自氣流軌跡界定溫度帶。

現在將描述一個上述技術之二維實施，該實施用於計算一大的（例如，大於 50,000 平方呎）資料中心之底板風管區域之氣流勢能。在下文中，雖然聚焦於「風管」溫度帶上，但是同樣的原理可應用於「風管上方」或總體高架地板資料中心。第 4 圖為圖示資料中心之圖形表示 400 之圖，其包括複數個 ACU 402 及穿孔地磚 404。該圖形表示可（例如）使用 MMT 用戶端來建立，參見下文。資料中心中之某些區域（例如區域 406）係自計算中排除，因為區域 406 與風管分離。區間邊界 408 界定了整個風管之實體尺寸。

如上所述，在區間由底板風管界定的情況下，ACU 可為氣流源而穿孔地磚可為用作紐曼邊界條件（Neumann boundary conditions）之氣流槽。在該特定實施例中，將方程式 1 之右側設置為零。如以上所強調，ACU 及穿孔地磚之氣流測定資料可使用 MMT 以獲得。獲得所要求的 ACU 及穿孔地磚兩者之輸入資料的適當的技術亦描述於（例如）以下文件中：H.F.Hamann 等人，「Methods and Techniques for Measuring and Improving Data Center Best

Practices」，佛羅裏達州奧蘭多舉行之 ITherm 2008 會議之 IEEE 學報，第 1146 頁至第 1152 頁（2008 年五月），其內容以引用之方式併入本文。

在第 5 圖中展示之圖形表示 400 之一部分 500 之放大視圖圖示網格已被建立。節點在該二維模型中以三角形連接。源（例如，ACU）及槽（例如，穿孔地磚）在第 5 圖中經標示展示。

第 6 圖為圖示氣流勢能 ϕ 以及由執行上述計算產生之相應的氣流速度向量之圖。第 6 圖中展示圖形表示 400 之相同的部分 500。較暗區域對應高氣流勢能，而較亮陰影區域對應較低氣流勢能。如第 6 圖所示，一些 ACU 已經關閉且因此無邊界被應用。下層柵格指示地磚柵格，其通常用於資料中心中。

一旦已經計算出氣流速度場（根據上述方程式 2），則來自資料中心之每個區域之氣流經追蹤回至產生氣流之 ACU，且到達資料中心之每個區域之氣流經追蹤回至返回氣流之 ACU（氣流速度向量集體指示氣流模式，其為以速度場界定溫度帶（其由該等氣流模式提供）之原因）。例如，結合以下第 12 圖之描述，描述用於追蹤資料中心中氣流之示例性方法。在該特定實例中，在整個底板風管中追蹤氣流，但是對於高架地板，其亦可用相同的方式完成。該跡線連接了特定 ACU 與其相應的溫度帶。

第 7 圖中展示該等跡線（在本文亦稱作「氣流軌跡」），

其為單粒子遵循之路徑及相應的溫度帶。又，第 7 圖中展示圖形表示 400 之相同部分 500。在第 7 圖中，(藉由一帶邊界) 畫出了溫度帶之輪廓。彼等具有陰影圖案 (hatched pattern) 之 ACU 被關閉。若條件改變，例如穿孔地磚被移除或部署不同地磚類型或 ACU 被關閉，則可重複計算並相應地將資料中心風管重新分帶。不同類型之地磚具有不同階層之穿孔，其為如何在一給定壓力梯度下，控制何等氣流量可經推動穿過地磚的方法。通常，參考地磚中之開孔「階層」。因此，例如，存在 25% 開孔之地磚直至 50% 開孔之地磚。25% 開孔之地磚具有比 50% 開孔之地磚更高的阻力。阻力或阻抗 R 為地磚開孔率及某些其他因素之性質。若壓力差 p 已知，則可由以下方程式計算氣流 f ：

$$p=R \times f^2$$

在此值得注意的是，只要該等改變不涉及修改有限元素網格，則由於不必每次重新產生節點及元素，故重複計算將需要較少的計算時間。此外，若使用線性系統之直接解算器以求解方程式 4，則只要方程式 4 中之矩陣 A 保持不變 (若條件改變僅對應在源及槽上之測定氣流之修改則為此狀況，因為此僅僅導致方程式 4 的右側 b 被修改)，則亦可能節約計算時間。因為直接解算器通常使用兩個階段，係數矩陣之數值因式分解 (numerical factorization)，繼之以具有因子矩陣之方程式組的解，只要矩陣保持不變，則僅需完成一次係數矩陣之數值因

式分解。數值因式分解為兩個階段中最耗時的，因此僅當確實需要時才進行因式分解可產生大量的計算時間節約。

本發明之技術可包括疊加原理(superposition principle)之利用，其可藉由避免冗餘計算，提供更快求解各別氣流模式對於變化條件之途徑。特定言之，用於求解出勢能 ϕ 之方程式 1 可經重寫為 $\nabla \cdot (\nabla \phi) = f$ ，其中 ∇ 為散度算子。只要 ϕ_1 及 ϕ_2 為對於相同區間（幾何形狀）之方程式 1 之解，則可以使用疊加原理並對方程式 1 之兩個解 ϕ_1 及 ϕ_2 （或，通常為任何數目之解）求和以獲得第三解 $\phi_3 = \phi_1 + \phi_2$ 。亦即，假設 ϕ_1 為 $\nabla \cdot (\nabla \phi_1) = f_1$ 之解且 ϕ_2 為 $\nabla \cdot (\nabla \phi_2) = f_2$ 之解，則 $\phi_3 = \phi_1 + \phi_2$ 為 $\nabla \cdot (\nabla \phi_3) = f_1 + f_2$ 之解。舉例而言，假設 ϕ_1 為當僅 ACU1 開啟（在一給定的風扇速度設定），且同時所有其他 ACU 關閉時獲得的解，且 ϕ_2 為當僅 ACU2 開啟（在一給定的風扇速度設定）同時所有其他 ACU 關閉時獲得的解。對於僅 ACU1 開啟之情況，速度場為 $v_1 = \nabla \phi_1$ 且對於僅 ACU2 開啟之情況，速度場為 $v_2 = \nabla \phi_2$ 。隨後， $v_3 = v_1 + v_2$ 與 ACU1 及 ACU2 開啟（以獲得原始情況之相應的風扇速度）而所有其他的 ACU 關閉時之情況的速度場相對應。

在一示例性實施例中，使用一圖形軟體（例如，MMT 用戶端）以提供空間（例如，資料中心）之圖形表示、界定區間、編輯槽及源、饋入感測器資料（若可用）以界定槽及源、初始化計算、後處理及視覺化溫度帶。MMT

用戶端為軟體應用程式，其允許圖形化地顯示資料中心佈局且亦允許視覺化氣流軌跡、帶及氣流向量。

例如，參見第 8 圖，其為圖示示例性圖形介面 800（如顯示於（例如）諸如電腦螢幕之視訊顯示器上，參見下文）之圖，圖形介面 800 包含資料中心之圖形表示 801。為了圖示之目的，諸如伺服器機架及穿孔地磚的資料中心內之結構被標示於圖形表示 801 中（且可或不可標示於該程序之實際實施中）。風管之區間藉由（例如）邊界 806 界定為 x 點及 y 點之多邊形。此處已經界定了兩個區間，一外部區間及一內部區間（內部區間在該繪圖中並不可見）。外部區間環繞資料中心之風管，而內部區間覆蓋分離之控制室。狄利克雷邊界條件（Dirichlet boundary conditions）亦已經被界定（其中勢能經設置為某一值，其在大多數狀況下為零）。

如以上所強調，在一或多個源/槽處之氣流可改變。另外，源/槽可經添加至區間或自區間移除。第 9 圖圖示可如何圖解編輯介面 800（第 8 圖之介面 800）以反映區間中之該等改變。在此特定實例中，為穿孔地磚指定氣流。可使穿孔地磚交互移動、複製且可容易地調處地磚性質（類型、氣流阻抗等）。在一示例性實施例中，可使用位於（例如）風管中之即時感測器以更新模型輸入。特定言之，藉由量測風管中之壓力並結合通氣孔或穿孔地磚之氣流阻抗，可自動計算氣流且隨後將氣流應用於分帶模型。穿孔氣流地磚阻抗 $R[\text{Pa}/\text{cfm}^2]$ 可由以下方程式提

供，

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{A^2} \cdot K$$

其中 ρ 為空氣密度， A 為地磚面積且 K 為損耗係數。氣流相關之壓力差如下所述，

$$\Delta p = R \cdot f_{\text{氣流}}^2$$

用即時感測器重新量測壓力差並使用 $\Delta p = R \cdot f_{\text{氣流}}^2$ 來計算穿過每個地磚之氣流。如所論述，氣流係應用為邊界。

一旦已經界定及建立了模型（亦即，已經提供了圖形表示，已經界定了所有的區間，等等），則可基於使用者輸入以溫度帶之模型化（如上所述），或藉由使用感測器網路量測出的資料中心中之改變以觸發溫度帶之模型化（感測器網路（例如）可偵測氣流改變及/或偵測源/槽自區間之添加/移除，參見上文）。第 10 圖圖示介面 800（第 8 圖之介面 800）上溫度帶之視覺化。在第 10 圖中所展示之該示例性實施例中，灰色陰影用以區分各種溫度帶之能量效率，例如溫度帶 1002 中使用之陰影表示最大效率。如以上所強調，效率可以「利用率」或更佳地以「COP」為表徵。若在給定的分母上增加「熱移量」，則 COP 及利用率增加，且因此效率增加（亦即，利用率（UT）= 熱移量 / 標稱熱負載移除量）或效能係數（COP）增加（COP = 熱移量 / ACU 風扇之電力消耗）。圖示利用率及 COP 之條狀圖現呈現於介面 800 之底部。條狀圖上之線 1004 及線 1006 分別對應 ACU 之排出溫度及返回溫度，

其可自靜態資料（其可在 MMT 用戶端編輯）或自即時資料（自即時感測器饋送至 MMT 用戶端，（例如）以便更新如上所述之資料中心中之條件）獲得。為了圖示之目的，展示由箭頭 1008 與相應的條狀圖連接的溫度帶之一（具有 54% 之利用率且 COP 為九）。

最終，值得注意的是本發明之技術亦可用以決定自每個通氣孔或穿孔地磚之各別冷卻容量。亦即，結合溫度模型（如 Hamann 中所描述），可計算通氣孔或穿孔地磚排出溫度 T_D （亦即，一旦獲得速度場 $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ ，則將其用於能量方程式 $\rho c_p \vec{v} \cdot \text{grad}(T) + \text{div}(k \text{ grad}(T)) = 0$ ，其中將溫度規定為邊界（例如，在伺服器之入口及出口處），以求解溫度分佈）。因此，可將溫度分佈計算為（例如，在二維區間中） x 坐標與 y 坐標之函數 $T(x, y)$ 。藉由瞭解穿孔地磚之位置 (x_t, y_t) ，可得到地磚排出溫度 $T_d = T(x_t, y_t)$ 。

結合氣流速度或總氣流量及可容許的伺服器入口溫度 T_{inlet} ，可由 $P_{冷卻} \approx (T_{inlet} - T_D) \times \text{氣流量} / 3140 [\text{cfmK/kW}]$ 為每個通氣孔/穿孔地磚決定每地磚之冷卻功率。若已經計算出速度向量（而不是如在本實施例中經量測並用作邊界），則可藉由積分地磚或通氣孔的區域上之垂直速度向量分量（最常為 v_z ）以獲得氣流量 $\text{氣流量} = \int v_z dA$ 。第 11 圖展示了本特性之一實例。特定言之，第 11 圖為圖示資料中心中冷卻容量之示意圖 1100。在第 11 圖中，佈局表示被套合 (overlay) 為具有三維條狀圖之擬三維圖像，其中條帶的高度說明冷卻

容量（亦即，冷卻功率）。

第 12 圖圖示用於追蹤氣流速度向量至諸如 ACU 之氣流源之示例性方法 1200。方法 1200 代表用於執行如上所述之方法 200（第 2 圖）之步驟 214 之示例性程序。在步驟 1202 中，程序在一給定位置（若為該程序之第一次疊代，則將其亦視為起始位置）開始，從而選出一給定的位置（例如，一起始位置）。根據一示例性實施例，當正被模型化之空間為資料中心時，在資料中心高架地板中，根據該程序描述之每個位置可對應給定地磚（任何地磚，不僅為穿孔地磚）之位置。在該實例中，起始位置可為任何地磚。該程序可自起始地磚（位置）開始且隨後迴路通過(loop through)資料中心中之所有地磚。在步驟 1204 中，參考給定位置（其為該程序之第一次疊代中之起始位置）之速度向量（亦即，已經決定了整個資料中心中之速度向量，例如參見如上所述之方法 200 之步驟 212）。如上所述，整個空間（亦即，資料中心）中之氣流速度向量可基於自源/槽中獲得之氣流資料，使用有限元素技術（亦即，在複數個子區間內）決定。然而，若尚未決定給定位置之速度向量，則可使用標準內插技術來提取速度向量。例如，當計算軌跡時，最終到達之位置並不具有特定計算出的氣流向量。但是，附近必然存在具有計算出之氣流向量之位置。對於該情況，已經測試了若干種不同的方法。一種方法為使用最接近的速度向量。另一種方法為使用複數個相鄰速度向量之

距離加權平均值。然而，通常可使用任何內插技術。

在步驟 1206 中，決定（亦即，計算）新的下一位置。在該步驟中，使用資料中心地磚之上述實例作為位置點以選擇下一地磚。在一個二維區間中，下一位置 x_t 及 y_t 可如下選擇：

$$\begin{aligned} x_t(\text{steps}) &= (x_t(\text{steps}-1) + v_x * \text{stepsize} * n); \text{ and} \\ y_t(\text{steps}) &= (y_t(\text{steps}-1) + v_y * \text{stepsize} * n), \end{aligned}$$

其中速度向量之量值為 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 且 $n = 0.2/v$ 。參數 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 及 $n = 0.2/v$ 控制與 v_x 及 v_y 相關之步長，並在若速度向量小時防止步級過小。換言之，引入變數 n 以確保若速度非常小，則仍自一位置向下一位置移動相當大的步級，以使得方法不過於緩慢。步長可由使用者選擇。

在步驟 1208 中，決定該新位置是否落在氣流源（例如，ACU）之區域內。若軌跡與一 ACU 相交，則在步驟 1210 中將先前位置指派給該 ACU。例如，若地磚 1 為起始（先前的）位置且地磚 2 為新位置，且地磚 2 落在 ACU1 之區域內，則將指派地磚 1 至 ACU1。隨後藉由參考新位置（例如，地磚 2）之速度向量（步驟 1204）、決定另一新位置（例如地磚 3 之位置）（步驟 1206）等以重複該程序（對於 n 數目個位置，例如地磚、整個空間，例如資料中心）。ACU 位置（例如）可瞭解自 MMT 用戶端中之圖形表示。該表示包括 ACU 之 x, y 坐標及 ACU 之寬度、長度及高度（亦即，界定該區域）。一旦 x_t 及 y_t （參見步驟 1206）在 ACU 區域內，則決定另一新位置等等。

另一方面，若新位置（例如，使用上述實例之地磚 2）不落在 ACU 之區域內，則在步驟 1212 中可進行關於是否已經進行過多步驟之決定，亦即，假若軌跡不終止於 ACU，則存在最大數目之步驟。應考慮的另一方法為若位置（例如，地磚）沒有落在氣流源之區域內，則可能存在對於步驟 1204 及步驟 1206 可重複次數所施加之限制。若實際上已經進行了過多步驟（亦即，已經達到極限），則在步驟 1214 中將先前位置（例如，地磚 1）指定為「無帶」，意謂該位置不與溫度帶相關。隨後對於整個空間中之 n 個位置，藉由參考新位置（例如，地磚 2）之速度向量（步驟 1204）、決定另一新位置（例如，地磚 3 之位置）（步驟 1206）等以重複該程序。另一方面，若未超過步驟之最大數目（亦即，未達到極限）（且新位置（例如，地磚 2）未落在 ACU 之區域內（步驟 1208）），則重複在步驟 1204 中再次開始之程序，亦即，藉由參考新位置（例如，地磚 2）之速度向量（步驟 1204），決定另一新位置（例如，地磚 3 之位置）（步驟 1206）等。對於 n 個位置（亦即，空間（亦即資料中心）中之地磚）之每個位置重複方法 1200。以此方式，每個速度向量經追蹤至一特定氣流源（例如，ACU）或經指定為不與特定溫度帶相關。在下文提供了用於追蹤速度向量至特定氣流源及藉此在空間中界定溫度帶之示例性程式碼。

現在參照第 13 圖，其為根據本發明之一具體實施例展示在一空間（例如一室內，諸如資料中心 100（第 1 圖））

中用以模型化溫度帶之裝置 1300 之方塊圖。應理解，裝置 1300 代表用於實施第 2 圖之方法 200 之一實施例。

裝置 1300 包括電腦系統 1310 及可移除媒體 1350。電腦系統 1310 包括處理器設備 1320、網路介面 1325、記憶體 1330、媒體介面 1335 及任選顯示器 1340（用於顯示（例如）如上所述之第 8 圖之圖形介面 800）。網路介面 1325 允許電腦系統 1310 與網路連接，而媒體介面 1335 允許電腦系統 1310 與媒體（諸如硬碟(hard drive)或可移除媒體 1350）互動。

如瞭解於此項技術中，本文論述之方法及裝置可經分配為一製品，該製品本身包含一機器可讀取媒體，該機器可讀取媒體包含一或多個程式，該一或多個程式當經執行時實施本發明之實施例。例如，該機器可讀取媒體可包括一程式，該程式經組態以：提供空間之圖形表示；在空間中界定至少一個區間以用於模型化；藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立網格，該等子區間將複數個節點互連；識別該區間中之氣流源及氣流槽；自一或多個氣流源及氣流槽中獲得氣流測定；在每個子區間之中心，使用自氣流源及氣流槽中獲得之氣流測定來決定氣流速度向量；及追蹤每個速度向量至一氣流源，其中至一給定的氣流源之跡線的組合代表該空間中之一溫度帶。

機器可讀取媒體可為一可記錄媒體（例如，軟磁碟、硬碟、諸如可移除媒體 1350 之光碟或記憶卡）或可為一

傳輸媒體（例如，包括光纖、全球資訊網、電纜之網路或使用分時多工存取、分碼多工存取之無線通道或其他的射頻通道）。可使用可儲存適合於電腦系統使用之資訊的已知的或開發的任何媒體。

處理器設備 1320 可經組態以實施本文揭示之方法、步驟及功能。記憶體 1330 可為分散式或本地的，且處理器 1320 可為分散式或單一的。記憶體 1330 可實施為電氣記憶體、磁性記憶體或光學記憶體，或該等或其他類型之儲存設備之任何組合。此外，術語「記憶體」應經足夠廣泛地分析以涵蓋能夠自處理器設備 1320 存取之可定址空間中之位址讀取或向其寫入之任何資訊。具有此定義，網路上可經由網路介面 1325 存取之資訊仍包含在記憶體 1330 內，因為處理器設備 1320 可自網路中擷取資訊。應注意，組成處理器設備 1320 之每個分散式處理器通常包括其自身之可定址記憶體空間。亦應注意，可以將一些或所有的電腦系統 1310 併入特殊應用積體電路或一般使用之積體電路。

任選視訊顯示器 1340 為適於與裝置 1300 之人類使用者互動之任何類型之視訊顯示器。通常，視訊顯示器 1340 為電腦螢幕或其他類似的視訊顯示器。

以下為 pv-wave 程式編寫語言之示例性程式碼，其用於追蹤速度向量至特定氣流源並藉此在空間中界定溫度帶。

```

; {{{ Pdata
Function mmts_Pdata,x,y,area=area,dir=dir
  pdata=fltarr(6,n_elements(x)) & pdata(0,*)=x & pdata(1,*)=y &
  area=4.0*poly_area(pdata(0,*),pdata(1,*))
  dir=strarr(n_elements(pdata(0,*)))
  for i=0,n_elements(pdata(0,*))-2 do begin
    x0=nint(pdata(0,i)*2.0) & y0=nint(pdata(1,i)*2.0) &
    x1=nint(pdata(0,i+1)*2.0) & y1=nint(pdata(1,i+1)*2.0)
    case 1 of & x1 GT x0: dir(i+1)='S' & y1 GT y0: dir(i+1)='E' & x0 GT x1:
dir(i+1)='N' & y0 GT y1: dir(i+1)='W'
    else: print,'problem in domain section' & endcase
  endfor
  dir(0)=dir(i) & n=n_elements(pdata(0,*))
  for i=0,n-2 do begin
    corner=strcompress(dir(i)+dir(i+1))
    case 1 of
      corner EQ 'NE' or corner EQ 'EN':begin & pdata(2,i)=pdata(0,i)-0.25
& pdata(3,i)=pdata(1,i)-0.25 & pdata(4,i)=pdata(0,i)+0.25 &
pdata(5,i)=pdata(1,i)+0.25 & end
      corner EQ 'ES' or corner EQ 'SE':begin & pdata(2,i)=pdata(0,i)-0.25
& pdata(3,i)=pdata(1,i)+0.25 & pdata(4,i)=pdata(0,i)+0.25 &
pdata(5,i)=pdata(1,i)-0.25 & end
      corner EQ 'SW' or corner EQ 'WS':begin & pdata(2,i)=pdata(0,i)+0.25
& pdata(3,i)=pdata(1,i)+0.25 & pdata(4,i)=pdata(0,i)-0.25 &
pdata(5,i)=pdata(1,i)-0.25 & end
      corner EQ 'WN' or corner EQ 'NW':begin & pdata(2,i)=pdata(0,i)+0.25
& pdata(3,i)=pdata(1,i)-0.25 & pdata(4,i)=pdata(0,i)-0.25 &
pdata(5,i)=pdata(1,i)+0.25 & end
    else: print,'problem in domain section'
  endcase
endfor
  pdata(*,i)=pdata(*,0)
  return,pdata
end
; }}}

```

```

;{{{ DomNodes
Pro mmts_DomNodes,pdata,r,dom_nodes=dom_nodes,id=id,od=od
  dxy=size(dom_nodes)
  case 1 of
    keyword_set(id): v=-1 & keyword_set(od): v=0
  else: print,'od/id keyword missing'
  endcase
  if                                keyword_set(id)                                then
dom_nodes(polyfillv(r*pdata(2,*)+1,r*pdata(3,*)+1,dxy(1),dxy(2)))=v
  else
dom_nodes(polyfillv(r*pdata(4,*)+1,r*pdata(5,*)+1,dxy(1),dxy(2)))=v
  endif
  ;}}}

```

Function

```

mmts_CalculatePlenumTemp,gflow,gtemp,acu,xl,y1,points=points,gcool=gcool
1

```

```

ail=where(gflow GT min(gflow)) & ai2=where(acu(13,*) EQ 'YES')
points=fltarr(3,n_elements(ail)+n_elements(ai2))

```

```

x=(float(acu(1,ai2))+float(acu(4,ai2)))/2.0)/2.0
y=(float(acu(2,ai2))+float(acu(5,ai2)))/2.0)/2.0
points(0,n_elements(ail):n_elements(ail)+n_elements(ai2)-1)=x
points(1,n_elements(ail):n_elements(ail)+n_elements(ai2)-1)=y
points(2,n_elements(ail):n_elements(ail)+n_elements(ai2)-1)=float(acu(11,ai2))

```

```

x=ail-(great_int(ail)/xl)*xl & y=great_int(ail)/xl
points(0,0:n_elements(ail)-1)=x+0.5 & points(1,0:n_elements(ail)-1)=y+0.5

```

```

for                                i=0,n_elements(ail)-1                                do
points(2,i)=avg(gtemp(3*x(i):3*x(i)+2,3*y(i):3*y(i)+2,0:0))*1.8+32.0

```

```

out=mmts_IWDInt3D(points,xl,y1)
gcool=fltarr(xl,y1) & gcool(*,*)=1000
gcool(x,y)=gflow(x,y)*(90.0-out(x,y))/3140.0

```

```

gcool(where(gcool EQ 1000))=min(gcool)-0.2
return,out
end
;)))
;(((FEAutoMesherNodes2D
Pro
mmts_FEAUTOmesherNodes2D,name,domains,r,glayout,obstruct=obstruct,dom_n
odes=dom_nodes,nodes=nodes,total_area=total_area,Show_nodes=Show_nodes,
Show_boundary=Show_boundary
r=float(r) & total_area=0
dd=where(domains(0,*) EQ name) & ds=sort(domains(4,dd))
if ds(0) EQ -1 then print,'domain problem in '+name
for d=0,n_elements(ds)-1 do begin
    x=float(strsplit(domains(2,ds(d)),','))
    y=float(strsplit(domains(3,ds(d)),','))
    pdata=mmts_pdata(x,y,area=area)
    if domains(4,ds(d)) EQ 'inner' then begin
total_area=total_area+area
mmts_DomNodes,pdata,r,dom_nodes=dom_nodes,/id
    endif else begin & total_area=total_area-area &
mmts_DomNodes,pdata,r,dom_nodes=dom_nodes,/od & endelse
    if keyword_set(Show_boundary) then begin
plots,pdata(0:1,*),color=3,thick=3
plots,pdata(2:3,*),color=4,thick=3,LineStyle=1
plots,pdata(4:5,*),color=5,thick=3,LineStyle=1 & endif
    endfor

if keyword_set(obstruct) then begin
for i=0,n_elements(obstruct)-1 do begin & ai=where(glayout(0,*) EQ
obstruct(i))
    if ai(0) GT -1 then begin
for n=0,n_elements(ai)-1 do begin
        x=float(glayout(1,ai(n)))*r & y=float(glayout(2,ai(n)))*r &
dx=float(glayout(4,ai(n)))*r & dy=float(glayout(5,ai(n)))*r
        dom_nodes(nint(x)+1:nint(x)+nint(dx)-1,nint(y)+1:nint(y)+nint(dy)-
1)=0
        if keyword_set(Show_boundary) then
plots,[x/r,x/r+dx/r,x/r+dx/r,x/r,x/r],[y/r,y/r,y/r+dy/r,y/r+dy/r,y/r],c
olor=3
        endfor
    endif
endfor

```

```

endif

nodes=strarr(3,long(n_elements(where(dom_nodes(*,*) EQ -1))))
q=long(0)
for y=0,n_elements(dom_nodes(0,*))-1 do begin & for
x=0,n_elements(dom_nodes(*,0))-1 do begin
    if dom_nodes(x,y) EQ -1 then begin
        if keyword_set(Show_nodes) then
            oplot, [x/r], [y/r], psym=4, color=2, symsize=0.25
        nodes(0,q)=q+1 & nodes(1,q)=string(x/r) & nodes(2,q)=string(y/r) &
        dom_nodes(x,y)=q+1 & q=q+1
    endif
endfor & endfor
end
;}})
;{{{FEAutoMesherTriangles2D
Pro
mmts_FEAutoMesherTriangles2D,r,nodes,dom_nodes,dom_triangles=dom_triang
les,triangles=triangles,Show_triangles=Show_triangles
d=1.0/r & q=long(0) & dxy=size(dom_triangles) & xl=dxy(1)/2 &
yl=dxy(2)/2
triangles=strarr(4,long(100000)) & q=long(0)
for il=long(0),n_elements(nodes(0,*))-1 do begin
    x=float(nodes(1,il)) & y=float(nodes(2,il))
    if x LT float(xl) and y LT float(yl) then begin
        p0=dom_nodes(nint(x*r),nint(y*r)) &
        p1=dom_nodes(nint((x+d)*r),nint(y*r))
        p2=dom_nodes(nint((x+d)*r),nint((y+d)*r)) &
        p3=dom_nodes(nint(x*r),nint((y+d)*r))
        if p0 GT 0 and p1 GT 0 and p2 GT 0 and p3 GT 0 then begin
            if p0 GT 0 and p1 GT 0 and p3 GT 0 then begin
                if keyword_set(Show_triangles) then
                    oplot, [x,x+d,x,x], [y,y,y+d,y], color=2, thick=0.01
                triangles(0,q)=q+1 & triangles(1,q)=p0 & triangles(2,q)=p1 &
                triangles(3,q)=p3 & q=q+1
            dom_triangles(nint(x*r),nint(y*r))=dom_triangles(nint(x*r),nint(y*r))+s
            tring(q)
            endif
            if p1 GT 0 and p2 GT 0 and p3 GT 0 then begin
                if keyword_set(Show_triangles) then
                    oplot, [x+d,x+d,x,x+d], [y,y+d,y+d,y], color=2, thick=0.01

```

```

        triangles(0,q)=q+1 & triangles(1,q)=p1 & triangles(2,q)=p2 &
triangles(3,q)=p3 & q=q+1

dom_triangles(nint(x*r),nint(y*r))=dom_triangles(nint(x*r),nint(y*r))+
'+string(q)
    endif
    endif
    endif
endfor

dom_triangles=strcompress(dom_triangles,/remove_all)
triangles=triangles(*,0:q-1)
end

;)))
;{{{FESourcesSinks
Pro
nmts_FESourcesSinks,acu,acuMetrics,gflow,dom_triangles,r,sources_sinks=
sources_sinks,Show_sources=Show_sources,Show_sinks=Show_sinks

r=float(r) & sources_sinks=strarr(3,100000) & q=0 & sum_sources=0 &
sum_sinks=0 & acu_on=where(acu(13,*) EQ 'YES')

for i=0,n_elements(acu_on)-1 do begin
    x=float(acu(1,acu_on(i))) /2.0 & y=float(acu(2,acu_on(i)))/2.0 &
dx=float(acu(4,acu_on(i)))/2.0 & dy=float(acu(5,acu_on(i)))/2.0
    for ix=nint(x*2),nint((x+dx)*2)-1 do begin & for
iy=nint(y*2),nint((y+dy)*2)-1 do begin
        tr=strsplit(dom_triangles(ix,iy),',')
        if n_elements(tr) EQ 2 then begin
            sources_sinks(0,q:q+1)=tr(*) &
sources_sinks(1,q:q+1)=acuMetrics(1,acu_on(i))/dx/dy/(-8.0) &
sources_sinks(2,q:q+1)=' '+acuMetrics(0,acu_on(i)) &
            q=q+2
sum_sources=sum_sources+2.0*float(acuMetrics(1,acu_on(i)))/dx/dy/(-8)
            if keyword_set(Show_sources) then begin

oplot,[ix/2.0,ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0,ix/2.0],[i
y/2.0,iy/2.0,iy/2.0+1.0/float(r),iy/2.0+1.0/float(r),iy/2.0],color=7

oplot,[ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0],[iy/2.0,iy/2.0+1.0/float(r)],color=7
            endif
        endif
    endfor & endfor
endfor

q1=q & dxy=size(gflow)

```

```

for ix=0,2*dxy(1)-1 do begin & for iy=0,2*dxy(2)-1 do begin
  if gflow(great_int(ix/2),great_int(iy/2)) GT min(gflow) then begin
    tr=strsplit(dom_triangles(ix,iy),' ')
    if n_elements(tr) EQ 2 then begin
      sources_sinks(0,q:q+1)=tr(*)
      sources_sinks(1,q:q+1)=float(gflow(great_int(ix/2),great_int(iy/2)))/8. &
      0 & sources_sinks(2,q:q+1)=' PERF'
      q=q+2
      sum_sinks=sum_sinks+2.0*float(gflow(great_int(ix/2),great_int(iy/2)))/8 &
      .0
      if keyword_set(Show_sinks) then begin
        oplot,[ix/2.0,ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0,ix/2.0],[i
        y/2.0,iy/2.0,iy/2.0+1.0/float(r),iy/2.0+1.0/float(r),iy/2.0],color=9
        oplot,[ix/2.0+1.0/float(r),ix/2.0],[iy/2.0,iy/2.0+1.0/float(r)],color=9
        endif
      endif
    endif
  endfor & endfor
  sources_sinks=sources_sinks(*,0:q-1)
  sources_sinks(1,0:q1-1)=double(sources_sinks(1,0:q1-1))/
  sum(double(sources_sinks(1,0:q1-1)))*(-1)
  sources_sinks(1,q1:q-1)=double(sources_sinks(1,q1:q-1))/
  sum(double(sources_sinks(1,q1:q-1)))
end
;)))
;{{{FESolverPDE
Pro
ments_FESolver,PDE_Path,DC_path,triangles,nodes,dirichlet,neumann,source
s_sinks,index_type,name_pot,name_vel

name_nodes='~nodes.txt' &
status=dc_write_free(strcompress(PDE_path+name_nodes,/remove_all),nodes
,/column,Delim=', ')
name_triangles='~triangles.txt' &
status=dc_write_free(strcompress(PDE_path+name_triangles,/remove_all),t
riangles,/column,Delim=', ')
name_dirichlet='~dirichlet.txt' &
status=dc_write_free(strcompress(PDE_path+name_dirichlet,/remove_all),d
irichlet,/column,Delim=', ')
name_neumann='none'

```

```

name_sources_sinks='~sources_sink.txt'
status=dc_write_free(strcompress(PDE_path+name_sources_sinks,/remove_all
1),sources_sinks,/column,Delim=',')

name_input='~input.txt' & name_pot='~pot.txt' & name_vel='~vel.txt'
n_triang=n_elements(triangles(0,*)) & n_nodes=n_elements(nodes(0,*))

n_dirichlet=1 & n_neumann=0 &
n_sources_sinks=n_elements(sources_sinks(0,*)) & index_type=1 &
input_dat=strarr(13)

input_dat(0)='number of elements =
'+strcompress(string(n_triang),/remove_all) & input_dat(1)='elements
file name = '+name_triangles

input_dat(2)='number of nodes =
'+strcompress(string(n_nodes),/remove_all) & input_dat(3)='coordinates
file name = '+name_nodes

input_dat(4)='number of Dirichlet nodes =
'+strcompress(string(n_dirichlet),/remove_all) &
input_dat(5)='Dirichlet nodes file name = '+name_dirichlet

input_dat(6)='number of Neumann elements =
'+strcompress(string(n_neumann),/remove_all) & input_dat(7)='Neumann
elements file name = '+name_neumann

input_dat(8)='number of sources/sinks elements =
'+strcompress(string(n_sources_sinks),/remove_all) &
input_dat(9)='Sources/sinks elements file name = '+name_sources_sinks

input_dat(10)='indexing type (0/1) =
'+strcompress(string(index_type),/remove_all)

input_dat(11)='solution output file name = '+name_pot &
input_dat(12)='velocity output file name = '+name_vel

status=dc_write_free(strcompress(PDE_path+name_input,/remove_all),input
_dat,/column)

cd,'c:\mmt\modeling\PDE' & spawn,'potential_flow.exe '+'
name_input,/console

spawn,strcompress('copy '+strcompress(PDE_path+name_pot,/remove_all)+'
'+DC_path)

spawn,strcompress('copy '+strcompress(PDE_path+name_vel,/remove_all)+'
'+DC_path)

end
:)))
;{{{CreateShiftedArrays
Function mmts_CreateShiftedArrays,sarray,r,name,domains,acu

dd=where(domains(0,*) EQ name) & ds=sort(domains(4,dd))
if ds(0) EQ -1 then print,'domain problem in '+name

```

```

for j=0,n_elements(ds)-1 do begin
    x=float(strsplit(domains(2,ds(j))',';'))
    y=float(strsplit(domains(3,ds(j))',';'))
    pdata=mmts_pdata(x,y) & pdata(2:3,*)=pdata(2:3,*)+0.25
    if j EQ 0 then dir=['S','E','N','W'] else dir=['N','W','S','E']
    for i=0,n_elements(pdata(0,*))-2 do begin
        x0=nint(pdata(2,i)*2.0) & y0=nint(pdata(3,i)*2.0)
        x1=nint(pdata(2,i+1)*2.0) & y1=nint(pdata(3,i+1)*2.0)
        case 1 of
            x1 GT x0: sarray(x0:x1,y0:y0,5)= sarray(x0:x1,y0:y0,5)+dir(0) & y1
            GT y0: sarray(x0:x0,y0:y1,5)= sarray(x0:x0,y0:y1,5)+dir(1)
            x0 GT x1: sarray(x1:x0,y0:y0,5)= sarray(x1:x0,y0:y0,5)+dir(2) & y0
            GT y1: sarray(x0:x0,y1:y0,5)= sarray(x0:x0,y1:y0,5)+dir(3)
            else: print,'problem in domain section' & endcase
        endfor
    endfor

    acu_on=where(acu(13,*) EQ 'YES')
    if acu_on(0) GT -1 then begin
        for i=0,n_elements(acu_on)-1 do begin
            x0=nint(float(acu(1,acu_on(i))))+1
            x1=x0+nint(float(acu(4,acu_on(i))))
            y0=nint(float(acu(2,acu_on(i))))+1
            y1=y0+nint(float(acu(5,acu_on(i))))
            sarray(x0-1:x1,y0-1:y1,4)=acu(0,acu_on(i))
        endfor
    endif
    return, sarray
end
;)))
;{{{Zoning
Function
mmts_Zoning, sarray, r, nsteps=nsteps, stepsize=stepsize, ShowTrajectory=Sho
wTrajectory, freq=freq
    dxy=size(sarray) & x1=(dxy(1)-2)/2 & y1=(dxy(2)-2)/2
    if not keyword_set(nsteps) then nsteps=600
    if not keyword_set(stepsize) then stepsize=2.0/float(r)
    if not keyword_set(freq) then freq=5
    mask=shift(sarray(*,*,0),-1,-1) & mask=bytsci(float(mask))

```

```

failures=0 & fx=fltarr(8) & fy=fltarr(8) & xydata=fltarr(2,8) &
xt=fltarr(nsteps) & yt=fltarr(nsteps) & vec=sarray(*,*,0:3) &
vec=float(vec)

zone=strarr(2*xl+1,2*yl+1)

ix=0 & iy=0 & count=0

cx=1 & cy=1

repeat begin & ix=0 & repeat begin
  if mask(ix,iy) GT 0 then begin
    case 1 of
      mask(ix+1,iy+1) GT 0:
        mask(ix+1,iy) GT 0 and mask(ix+1,iy+1) EQ 0: begin & x=float(ix/2.0)
+0.5 & y=float(iy/2.0)+0.25 & cx=2 & cy=1 & end
        mask(ix,iy+1) GT 0 and mask(ix+1,iy+1) EQ 0: begin &
x=float(ix/2.0)+0.25 & y=float(iy/2.0)+0.5 & cx=1 & cy=2 & end
      else: begin x=float(ix/2.0)+0.25 & y=float(iy/2.0)+0.25 & cx=1 &
cy=1 & end
    endcase

    xt(0)=x & yt(0)=y & steps=1 & acu_name='ZZ' & jumps=0

    repeat begin ;{({.
      vx0=nint(2.0*xt(steps-1)) & vy0=nint(2.0*yt(steps-1))
      case 1 of
        strpos(sarray(vx0,vy0,5),'N') GT -1: begin & vy0=vy0+1 &
yt(steps)=yt(steps-1)+0.5 & xt(steps)=xt(steps-1) & jumps=jumps+1& end
        strpos(sarray(vx0,vy0+1,5),'S') GT -1: begin & vy0=vy0-1 &
yt(steps)=yt(steps-1)-0.5 & xt(steps)=xt(steps-1) & jumps=jumps+1& end
        strpos(sarray(vx0,vy0,5),'E') GT -1: begin & vx0=vx0+1 &
xt(steps)=xt(steps-1)+0.5 & yt(steps)=yt(steps-1) & jumps=jumps+1& end
        strpos(sarray(vx0+1,vy0,5),'W') GT -1: begin & vx0=vx0-1 &
xt(steps)=xt(steps-1)-0.5 & yt(steps)=yt(steps-1) & jumps=jumps+1& end
      else: begin
        xydata(0,*)=[vx0-1.0+1.0/3.0,vx0-1.0+2.0/3.0,vx0-1.0+4.0/3.0,vx0-
1.0+5.0/3.0,vx0-1.0+1.0/3.0,vx0-1.0+2.0/3.0,vx0-1.0+4.0/3.0,vx0-
1.0+5.0/3.0]
        xydata(1,*)=[vy0-1.0+1.0/3.0,vy0-1.0+2.0/3.0,vy0-1.0+1.0/3.0,vy0-
1.0+2.0/3.0,vy0-1.0+4.0/3.0,vy0-1.0+5.0/3.0,vy0-1.0+4.0/3.0,vy0-
1.0+5.0/3.0]
        fx(0)=vec(vx0,vy0,0) & fx(1)=vec(vx0,vy0,1) &
fx(2)=vec(vx0+1,vy0,0) & fx(3)=vec(vx0+1,vy0,1)
        fx(4)=vec(vx0,vy0+1,0) & fx(5)=vec(vx0,vy0+1,1) &
fx(6)=vec(vx0+1,vy0+1,0) & fx(7)=vec(vx0+1,vy0+1,1)

```

```

        fy(0)=vec(vx0,vy0,2)      &      fy(1)=vec(vx0,vy0,3)      &
fy(2)=vec(vx0+1,vy0,2) & fy(3)=vec(vx0+1,vy0,3)
        fy(4)=vec(vx0,vy0+1,2)      &      fy(5)=vec(vx0,vy0+1,3)      &
fy(6)=vec(vx0+1,vy0+1,2) & fy(7)=vec(vx0+1,vy0+1,3)
        vx=avg(fx) & vy=avg(fy)
        ;vx=SCAT2DINTERP(xydata, fx, [2.0*xt(steps-1)], [2.0*yt(steps-1)])
& vy=SCAT2DINTERP(xydata, fy, [2.0*xt(steps-1)], [2.0*yt(steps-1)])
        v=sqrt(vx^2+vy^2)      &      n=0.2/v      &      xt(steps)=(xt(steps-
1)+vx*stepsize*n) & yt(steps)=(yt(steps-1)+vy*stepsize*n)
        endelse & endcase
        if sarray(vx0,vy0,4) NE '' then acu_name=sarray(vx0,vy0,4)
        ;if zone(vx0,vy0) NE '' then acu_name=zone(vx0,vy0)
        steps=steps+1 ;;;)))
        endrep until steps EQ nsteps or acu_name NE 'ZZ'

        if acu_name EQ 'ZZ' then failures=failures+1
        zone(ix+1:ix+cx,iy+1:iy+cy)=acu_name
        if keyword_set(ShowTrajectory) and count EQ freq then begin &
oplot,xt(0:steps-1),yt(0:steps-1),color=4,thick=0.5,Nsum=5 & count=0 &
endif
        count=count+1
        endif
        ix=ix+cx & endrep until ix GE 2*xl-1 & iy=iy+cy & endrep until iy GT
2*yl-1
        zone=shift(zone,-1,-1) & zone=zone(0:2*xl-1,0:2*yl-1)
        return, zone
    end
;)))
;{{{CreateZonePolyLines
Function mmts_CreateZonePolyLines,pzone,crac
    dxy=size(pzone) & xl=dxy(1)/2 & yl=dxy(2)/2
    intzone1=intarr(2*xl,2*yl)      &      intzone=intarr(2*xl+2,2*yl+2)      &
outz=strarr(500) & q=0
    for i=1,n_elements(crac)-1 do begin
        intzone1(*,*)=0 & intzone(*,*)=0 & intzone1(where(pzone EQ i))=i &
intzone(0:2*xl-1,0:2*yl-1)=intzone1
        intzone=intzone+shift(intzone,1,0)+shift(intzone,0,1)+shift(intzone,1,1
) & intzone(where(intzone GE i))=i
        p=boundary(intzone,where(intzone EQ i),k=2)      &      x=p-
great_int(p/(2*xl+2))*(2*xl+2) & y=great_int(p/(2*xl+2))

```

```

data=intarr(2,n_elements(x)+50) & data(0,0:n_elements(x)-1)=x &
data(1,0:n_elements(x)-1)=y
n=0
for c=0,n_elements(x)-1 do begin
    axf=where(data(0,c)+1 EQ data(0,*) and data(1,c) EQ data(1,*)) &
    axb=where(data(0,c)-1 EQ data(0,*) and data(1,c) EQ data(1,*))
    ayf=where(data(0,c) EQ data(0,*) and data(1,c)+1 EQ data(1,*)) &
    ayb=where(data(0,c) EQ data(0,*) and data(1,c)-1 EQ data(1,*))
    if axf(0) GT -1 and axb(0) GT -1 and ayf(0) GT -1 and ayb(0) GT -1
    then begin data(+,n_elements(x)+n)=data(+,c) & n=n+1 & endif
endfor
data=data(+,0:n_elements(x)+n) & x=data(0,*) & y=data(1,*) & c=0

repeat begin
    seed=c
    ind=mmts_FindConnectingVertices(seed,data=data,c=c,status=status)
    t=strcompress(string(x(ind))+',' +string(y(ind)),/remove_all)
    out='<cracz id="'+cracz(i)+'" bounds="'+strjoin(t,',')+','"/>'
    if n_elements(t) GT 2 then begin
        outz(q)=out & q=q+1 & endif
    endrep until status EQ 'finished'
endfor
outz=outz(0:q-1)
return,outz
end
;)))

if keyword_set(cool) then begin
    mmts_OpenDevice2D,strcompress(DC_path+'cool.ps'),x1,y1
    mmts_Page2D,x1,y1,banner=banner,cmap=cmap,title=strcompress('Cooling
Capacity - '+general(2))
    dis=gcool
    mmts_DisplayGArray2D,dis,x1,y1,high=max(gcool),low=min(gcool)

    mmts_DrawLayout2D,['PLENUM','PERF','WALL','STRUCTURE','ACU','SERVER','F
URNITURE','TAPE_OPTICAL','DISK','PDU','NETWORK','TILES'],glayout,x1,y1
    mmts_LabelEquipment2D,['PDU'],glayout
    mmts_DrawInlet2D,['SERVER','DISK','NETWORK'],glayout

    mmts_LabelVane2D,float(acu(1,*)),float(acu(2,*)),float(acu(4,*)),float(
acu(5,*)),acu(14,*)

```

```

mmts_DisplayColorbar, xl/2+1+1, 3, ct, max(gcool), min(gcool), 'Cooling
Power [kW]'

mmts_Page3D, xl, yl, zl, banner=_banner, cmap=cmap, title='Cooling Capacity
(3D) - '+general(2), wn=2

mmts_DrawLayout2D, ['PLENUM', 'PERF', 'WALL', 'STRUCTURE', 'ACU', 'SERVER', 'F
URNITURE', 'TAPE_OPTICAL', 'DISK', 'PDU', 'NETWORK', 'TILES'], glayout, xl, yl

mmts_DrawInlet2D, inlets, glayout

mmts_LabelEquipment2D, labels, glayout

LOADCT, 22, /Silent & tek_color & shades=gcool ;& shades(where(shades
LE 100))=100 ;& shades=bytescl((shades-low_flow)/(high_flow-low_flow) )

shades=bytescl(shades)

mmts_bar3d, gcool, /noerase, ZRange=[0, max(gcool)*8], threshold=min(gcool)+
0.01, XRange=[-8, xl], YRange=[-
8, yl], IndividualColors=bytescl(shades), /Outline, color=1, /noshade

mmts_DisplayColorbar, xl/2+1+1, 15, ct, max(gcool), min(gcool), 'Cool
[kW]', dx=1.0

device, /close

endif

;)))

;*** FE GENERAL SETTINGS {{{
print, '*** PLENUM FE MODELING ***'
name='PD1' & r=2.0 & dom_nodes=lonarr(r*xl+1, r*yl+1) &
dom_triangles=strarr(nint(r*xl), nint(r*yl))
; obstruct=['STRUCTURE']
;}}}

;*** FE MESH SECTION 2D PLENUM {{{
if keyword_set(mesh) then begin
mmts_OpenDevice2D, strcompress(DC_path+'\\mesh.ps', /Remove_all), xl, yl
mmts_Page2D, xl, yl, banner=_banner, cmap=cmap, title='Layout
'+general(2), wn=0
mmts_DrawLayout2D, ['WALL', 'TILES'], glayout, xl, yl

mmts_FeAutoMesherNodes2D, name, domains, r, glayout, obstruct=obstruct, dom_n
odes=dom_nodes, nodes=nodes, total_area=area, /Show_nodes, /Show_Boundary

mmts_FeAutoMesherTriangles2D, r, nodes, dom_nodes, dom_triangles=dom_triang
les, triangles=triangles, /Show_triangles

mmts_FeSourcesSinks, acu_b, acuMetrics_b, gflow, dom_triangles, r, sources_si
nks=sources_sinks, /Show_sources, /Show_sinks

```

```

xyouts,xl+0.05,-1.3,strcmp('Area:          '+string(nint(area))+
'ft2'),color=0,Size=1.2
device,/close
endif else begin

mmts_FeAutoMesherNodes2D,name,domains,r,glayout,obstruct=obstruct,dom_n
odes=dom_nodes,nodes=nodes,total_area=area

mmts_FeAutoMesherTriangles2D,r,nodes,dom_nodes,dom_triangles=dom_triang
les,triangles=triangles

mmts_FeSourcesSinks,acu_b,acuMetrics_b,gflow,dom_triangles,r,sources_si
nks=sources_sinks

endelse
;)))
;*** INVOKE SOLVER & GET VEC {{{
ai=where(domains(0,*).EQ name and domains(4,*)EQ 'inner')
if ai(0)EQ -1 or n_elements(ai)NE 1 then print,'Domain error'
if checkfile(DC_path+'~pot.txt',/read)EQ 0 then begin
    dirichlet=domains(5,ai(0))
    strput,dirichlet,',',strpos(domains(5,0),';')
    neumann=0 & index_type= 1
    PDE_path='c:\mmt\modeling\PDE\ '
    mmts_FESolver,PDE_Path,DC_path,triangles,nodes,dirichlet,neumann,source
s_sinks,index_type
endif

status=dc_read_free(strcmp(DC_path+'~vel.txt',/remove_all),vecxyz
) & vecxyz=reform(vecxyz,4,n_elements(vecxyz)/4)
vecxyz(2,*)=vecxyz(2,*)*(-1) & vecxyz(3,*)=vecxyz(3,*)*(-1)
;)))
;*** POT + VEC SECTION {{{
if keyword_set(potvec) then begin
    pot=fltarr(r*xl+1,r*yl+1) & pot(*,*)=0

status=dc_read_free(strcmp(DC_path+'~pot.txt',/remove_all),potxyz
) & potxyz=reform(potxyz,3,n_elements(potxyz)/3)
    pot(nint(potxyz(0,*)),nint(potxyz(1,*)))=potxyz(2,*)
    ai=where(potEQ 0) & dis=pot & dis(ai(*))=min(pot)-(max(pot)-
min(pot))/250.0
    mmts_OpenDevice2D,strcmp(DC_path+'~potvec.ps',/Remove_all),xl,yl

```

```

mmts_Page2D,xl,y1,banner=banner,cmap=cmap,title='Flow Potential + Vec
field - '+general(2),wn=0

mmts_DisplayGArray2D,dis,xl,y1,ct=ct,r=r,/nodes
mmts_DrawLayout2D,['WALL','TILES','PERF'],glayout,xl,y1
xyouts,xl+0.05,-1.3,strcompress('Area: '+string(nint(area))+
'ft2'),color=0,Size=1.2

;plots,pdata(2:3,*),color=3,thick=3,LineStyle=2
for i=0,n_elements(acu_b(0,*))-1 do begin
    ai=i & x=float(acu_b(1,ai))/2.0 & y=float(acu_b(2,ai))/2.0 &
    dx=float(acu_b(4,ai))/2.0 & dy=float(acu_b(5,ai))/2.0
    plots,[x,x+dx,x+dx,x,x],[y,y,y+dy,y+dy,y],color=4,thick=5 & endfor

;oplot,[vecxyz(0,*)/2.0],[vecxyz(1,*)/2.0],psym=4,color=2,symsize=0.25
    for i=long(0),n_elements(vecxyz(0,*))-1,2 do
mmts_Vector2D,vecxyz(0,i)/2.0,vecxyz(1,i)/2.0,-vecxyz(2,i),-
vecxyz(3,i),0,1.0,length=0.7,/center
        device,/close
    endif
;)))

;*** PLEN + VEC SECTION {{{
if keyword_set(plenvcc) then begin

mmts_OpenDevice2D,strcompress(DC_path+'\plenvec.ps',/Remove_all),xl,y1
    mmts_Page2D,xl,y1,banner=banner,cmap=cmap,title='Plenum Temp + Vec
field - '+general(2),wn=0
    dis=gplenum
    mmts_DisplayGArray2D,dis,xl,y1,ct=ct
    for i=long(0),n_elements(vecxyz(0,*))-1,2 do
mmts_Vector2D,vecxyz(0,i)/2.0,vecxyz(1,i)/2.0,-vecxyz(2,i),-
vecxyz(3,i),0,1.0,length=0.7,/center

mmts_DrawLayout2D,['WALL','PERF','SERVER','DISK','NETWORK','ACU','PDU',
'TAPE_OPTICAL','TILES'],glayout,xl,y1
    mmts_DrawInlet2D,['SERVER','DISK','NETWORK'],glayout
    xyouts,xl+0.05,-1.3,strcompress('Area: '+string(nint(area))+
'ft2'),color=0,Size=1.2
    ;plots,pdata(2:3,*),color=3,thick=3,LineStyle=2

mmts_DisplayColorbar,xl/2+1+1.3,ct,max(gplenum)*1.8+32.0,min(gplenum)*1
.8+32.0,'Temp [K]'

;oplot,[vecxyz(0,*)/2.0],[vecxyz(1,*)/2.0],psym=4,color=2,symsize=0.25
    device,/close

```

```

endif
;)))
;*** INVOKE ZONING {{{
  print,'*** ZONING ***'
  sarray=strarr(r*xl+2,r*yl+2,6)          ;vecx - first cell / second cell
  vecy - first cell / second cell
  sarray(*,*,0:3)='-999'

  sarray(great_int(vecxyz(0,*))+1,great_int(vecxyz(1,*))+1,nint(vecxyz(0,
*)-great_int(vecxyz(0,*)))) = vecxyz(2,*)

  sarray(great_int(vecxyz(0,*))+1,great_int(vecxyz(1,*))+1,2+nint(vecxyz(
0,*)-great_int(vecxyz(0,*)))) = vecxyz(3,*)

  if checkfile(DC_path+'\~zone.txt',/read) EQ 0 then begin
    sarray=mmts_CreateShiftedArrays(sarray,r,name,domains,acu_b)
    nsteps=600 & stepsize=2.0/float(r)
    zone=mmts_Zoning(sarray,r,nsteps=nsteps,stepsize=stepsize)

    status=dc_write_free(strcompress(DC_path+'\~zone.txt',/remove_all),zone
,/column)

  endif else begin
    zone=strarr(2*xl,2*yl)
    status=dc_read_free(strcompress(DC_path+'\~zone.txt',/remove_all),zone,
,/column)
  endelse

  ai=where(zone EQ 'ZZ') & if ai(0) NE -1 then zone(ai)=''
  crac=unique(zone(*,*))          &          crac=crac(sort(crac))          &
  pzone=intarr(2*xl,2*yl)
  for i=0,n_elements(crac)-1 do pzone(where(zone EQ crac(i)))=i
  pzone=fix(pzone)
; }}}
;*** CREATE ZONE POLYLINES {{{
  outz=mmts_CreateZonePolyLines(pzone,crac)
  zones_out=strarr(n_elements(outz))
  if keyword_set(cracz) then begin

    status=dc_write_fixed(strcompress(DC_path+'\~cracz.txt',/remove_all),ou
tz)

    t=strarr(n_elements(outz))    &    crac_id=strarr(n_elements(outz))    &
    pss=strarr(n_elements(outz))
    for i=0,n_elements(outz)-1 do begin

```

```

        s=strpos(outz(i),'bounds')+8      &      e=strpos(outz(i),'"/>')      &
t(i)=strcompress(strmid(outz(i),s,e-s-1),/remove_all)

        s=strpos(outz(i),'<cracz id="')+11 & e=strpos(outz(i),'" bounds') &
crac_id(i)=strcompress(strmid(outz(i),s,e-s),/remove_all)
        zones_out(i)=strcompress(crac_id(i)+' '+t(i)+' ',/remove_all)
    endfor

;here write polylines to dB
class='CRAC_ZONES' & columns='id,bounds'
args = 'FRMT=CSV&LST=' + class + ',' + columns
cache = '\layout&' + args
file = FILEPATH(args, /Tmp) + '.csv'
status = dc_write_fixed(file,zones_out)
resp    = mmtsdb(sessionContext,    '/api/layout/properties/set',
Args=args, Cache=cache, UploadFile=file)
endif
;)))
;*** ZONE SECTION {{{
if keyword_set(zones) then begin
    mmts_OpenDevice2D,strcompress(DC_path+'\zone.ps'),xl,yl
    mmts_Page2D,xl,yl,banner=banner,cmap=cmap,title=strcompress('ACU
Zones '+general(2))
    mmts_DisplayGArray2D,pzone,xl,yl,high=max(pzone),low=min(pzone)
    mmts_DrawLayout2D,['TILES','PERF','ACU','WALL'],glayout,xl,yl
    for          i=long(0),n_elements(vecxyz(0,*))-1,4          do
mmts_Vector2D,vecxyz(0,i)/2.0,vecxyz(1,i)/2.0,vecxyz(2,i),vecxyz(3,i),0
,1.0,length=0.7,/center
        for i=0,n_elements(acu_off_m)-1 do begin
            x=float(acu(1,acu_off_m(i)))/2.0 & y=float(acu(2,acu_off_m(i)))/2.0
& dx=float(acu(4,acu_off_m(i)))/2.0 & dy=float(acu(5,acu_off_m(i)))/2.0
            if dx GE dy then ori=0 else ori=90

polyfill,[x,x+dx,x+dx,x,x],[y,y,y+dy,y+dy,y],color=2,/Line_fill,orienta
tion=45,spacing=0.2,thick=1.0

            plots,[x,x+dx,x+dx,x,x],[y,y,y+dy,y+dy,y],color=2,thick=2
        endfor

        for i=0,n_elements(outz)-1 do begin
            s=strpos(outz(i),'bounds')+8 & e=strpos(outz(i),'"/>')
            t=split(strmid(outz(i),s,e-s),',')
ind=indgen(n_elements(t)/2)*2
            plots,float(t(ind))/2.0,float(t(ind+1))/2.0,thick=5,color=0

```

```

endfor

device,/close
endif
;)))
;*** TRAJECTORY SECTION {{{
if keyword_set(trajjectory) then begin
  mnts_OpenDevice2D, strcompress(DC_path+'\trajectory.ps'), xl, yl
  mnts_Page2D, xl, yl, banner=banner, cmap=cmap, title=strcompress('ACU
Zones '+general(2))
  mnts_DisplayGArray2D, pzone, xl, yl, high=max(pzone), low=min(pzone)
  mnts_DrawLayout2D, ['TILES', 'FERF', 'ACU', 'WALL'], glayout, xl, yl
  for i=long(0), n_elements(vecxyz(0,*))-1, 4 do
    mnts_Vector2D, vecxyz(0,i)/2.0, vecxyz(1,i)/2.0, -vecxyz(2,i), -
    vecxyz(3,i), 0, 1.0, length=0.7, /center

    for i=0, n_elements(acu_off_m)-1 do begin
      x=float(acu(1, acu_off_m(i)))/2.0 & y=float(acu(2, acu_off_m(i)))/2.0
      & dx=float(acu(4, acu_off_m(i)))/2.0 & dy=float(acu(5, acu_off_m(i)))/2.0
      if dx GE dy then ori=0 else ori=90

      polyfill, [x, x+dx, x+dx, x, x], [y, y, y+dy, y+dy, y], color=2, /Line_fill, orienta
      tion=45, spacing=0.2, thick=1.0

      plots, [x, x+dx, x+dx, x, x], [y, y, y+dy, y+dy, y], color=2, thick=2
    endfor

    nsteps=600 & stepsize=2.0/float(r)
    sarray=mnts_CreateShiftedArrays(sarray, r, name, domains, acu_b)
    freq=5 &
    zone=mnts_Zoning(sarray, r, nsteps=nsteps, stepsize=stepsize, /ShowTrajecto
    ry, freq=freq)

    for i=0, n_elements(outz)-1 do begin
      s=strpos(outz(i), 'bounds')+8 & e=strpos(outz(i), '">')
      t=strsplit(strmid(outz(i), s, e-s), ',') &
      ind=indgen(n_elements(t)/2)*2
      plots, float(t(ind))/2.0, float(t(ind+1))/2.0, thick=5, color=0
    endfor

; tek_color

```

```

; for x=0,2*xl+2-1 do begin & for y=0,2*yl+2-1 do begin
;     xt=(x-1)/2.0 & yt=(y-1)/2.0 & if sarray(x,y,5) NE '' then
xyouts,xt,yt,strcompress(sarray(x,y,5)),charsize=0.5,color=0
; endfor & endfor

device,/close
endif
;)))

```

雖然在本文已經描述了本發明之說明性實施例，但應理解，本發明並不限於彼等精確實施例，且在不脫離本發明之範疇之情況下，熟習此項技術者可進行各種其他改變及修改。

【圖式簡單說明】

第 1 圖係根據本發明之一具體實施例圖示一示例性資料中心之圖；

第 2 圖係根據本發明之一具體實施例圖示用於模型化溫度帶之一示例性方法之圖；

第 3 圖係根據本發明之一具體實施例圖示一示例性有限元素網格之圖；

第 4 圖係根據本發明之一具體實施例圖示一資料中心之圖形表示之圖；

第 5 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示第 4 圖之圖形表示中展示網格之一部分的放大視圖之圖；

第 6 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示第 4 圖之圖形表示中展示氣流勢能及氣流速度向量之一部分的放大視圖之圖；

第 7 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示第 4 圖之圖形表示中展示跡線及相應的溫度帶之一部分的放大視圖之圖；

第 8 圖係根據本發明之一具體實施例圖示一示例性圖形介面之圖，該示例性圖形介面包含資料中心之表示；

第 9 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示如何可編輯第 8 圖之圖形介面以反映資料中心之改變之圖；

第 10 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示在第 8 圖之圖形介面上視覺化溫度帶之圖；

第 11 圖係根據本發明之一具體實施例圖示資料中心中冷卻能力之示意圖；

第 12 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示用來追蹤氣流速度向量至一氣流源之示例性方法之圖；及

第 13 圖係根據本發明之一具體實施例，圖示在一空間中用來模型化溫度帶之示例性裝置之圖。

【主要元件符號說明】

100	資料中心
101	伺服器機架
102	空氣調節單元 (ACU)
104	底板
106	高架地板
108	底板風管
110	白色箭頭

112	黑色箭頭
114	穿孔地磚
200	方法
202	步驟
204	步驟
206	步驟
208	步驟
210	步驟
212	步驟
214	步驟
216	步驟
300	有限元素網格
400	資料中心之圖形表示
402	ACU
404	穿孔地磚
406	區域
408	區間邊界
500	圖形表示 400 之一部分
800	圖形介面
801	圖形表示
806	邊界
1002	溫度帶
1004	線
1006	線

1008	箭 頭
1100	示 意 圖
1200	方 法
1202	步 驟
1204	步 驟
1206	步 驟
1208	步 驟
1210	步 驟
1212	步 驟
1214	步 驟
1300	裝 置
1310	電 腦 系 統
1320	處 理 器 設 備 / 處 理 器
1325	網 路 介 面
1330	記 憶 體
1335	媒 體 介 面
1340	任 選 顯 示 器 / 任 選 視 訊 顯 示 器
1350	可 移 除 媒 體

公告本

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫；惟已有申請案號者請填寫)

※ 申請案號：99125619

※ 申請日期：2010 年 8 月 2 日

※IPC 分類：

H05k 7/20
G06F 1/20

一、發明名稱：(中文/英文)

用於在一空間中模型化溫度帶之方法、電腦程式產品與裝置/

METHOD, COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND APPARATUS
FOR MODELING THERMAL ZONES IN A SPACE

二、中文發明摘要：

提供用於使用氣流分析以模型化溫度帶之技術。在一態樣中，一種用於在一空間中（例如，在一資料中心中）模型化溫度帶之方法包括以下步驟。提供該空間之一圖形表示。在該空間中界定至少一個區間(domain)以用於模型化。藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立一網格(mesh)，該等子區間將複數個節點互連。在該區間中識別氣流源(source)及氣流槽(sink)。自該等氣流源及氣流槽中之一或多個獲得氣流測定。使用自該等氣流源及氣流槽中獲得的該等氣流測定，以決定在每個子區間之一中心之一氣流速度向量。追蹤每個速度向量至該等氣流源之一，其中至該等氣流源中之一給定氣流源的該等跡線之一組合代表該空間中之一溫度帶。

三、英文發明摘要：

Techniques for using air flow analysis to model thermal zones are provided. In one aspect, a method for modeling thermal zones in a space, e.g., in a data center, includes the following steps. A graphical representation of the space is provided. At least one domain is defined in the space for modeling. A mesh is created in the domain by sub-dividing

the domain into a set of discrete sub-domains that interconnect a plurality of nodes. Air flow sources and sinks are identified in the domain. Air flow measurements are obtained from one or more of the air flow sources and sinks. An air flow velocity vector at a center of each sub-domain is determined using the air flow measurements obtained from the air flow sources and sinks. Each velocity vector is traced to one of the air flow sources, wherein a combination of the traces to a given one of the air flow sources represents a thermal zone in the space.

七、申請專利範圍：

1. 一種用於在一空間中模型化溫度帶之方法，其包括以下步驟：

提供該空間之一圖形表示；

在該空間中界定至少一個區間(domain)以用於模型化；

藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立一網格，該等子區間將複數個節點互連；

在該區間中識別氣流源及氣流槽；

自該等氣流源及氣流槽中之一或多個獲得氣流測定；

使用自該等氣流源及氣流槽中獲得之該氣流測定以決定每個子區間之一中心處之一氣流速度向量；及

追蹤每個速度向量至該等氣流源之一，其中至該等氣流源中之一給定氣流源之跡線之一組合代表在該空間中之一溫度帶。

2. 如請求項1所述之方法，其中該空間包括一室。

3. 如請求項2所述之方法，其中該室包括具有電腦裝備機架之一資料中心及具有一或多個電腦空氣調節單元之一高架地板冷卻系統，該一或多個電腦空氣調節單元經組態以自該等電腦裝備機架吸入熱空氣及將經冷卻空氣

排入一底板風管，該經冷卻空氣在該高架地板中經由複數個穿孔地磚輸送至該等電腦裝備機架。

4. 如請求項3所述之方法，其中該區間由該底板風管之尺寸界定。

5. 如請求項1所述之方法，其中來自該等氣流源及氣流槽之該等氣流測定係使用行動量測技術獲得。

6. 如請求項4所述之方法，其中該等穿孔地磚包括氣流槽且該等空氣調節單元包括氣流源。

7. 如請求項6所述之方法，其進一步包含以下步驟：

追蹤該等速度向量中之每一速度向量至該等空氣調節單元中之一空氣調節單元，其中至該等空氣調節單元中之一給定空氣調節單元之該等跡線之一組合代表該空間中之一溫度帶。

8. 如請求項1所述之方法，其進一步包含以下步驟：

重複該識別步驟、該獲得步驟、該使用步驟及該追蹤步驟以回應該區間中在該等氣流源及氣流槽中之一或多個處的氣流之一改變。

9. 如請求項1所述之方法，其進一步包含以下步驟：

重複該識別步驟、該獲得步驟、該決定步驟及該追蹤步驟以回應自該區間中移除該等氣流源及氣流槽中之一或多個。

10. 如請求項1所述之方法，其進一步包含以下步驟：

重複該識別步驟、該獲得步驟、該決定步驟及該追蹤步驟以回應向該區間中添加一或多個新氣流源及氣流槽。

11. 如請求項1所述之方法，其進一步包含以下步驟：

決定每個氣流源之一冷卻容量。

12. 如請求項1所述之方法，其進一步包含以下步驟：

週期性地重複該獲得步驟、該決定步驟及該追蹤步驟以更新來自該等氣流源及氣流槽之該等氣流測定。

13. 如請求項1所述之方法，其中該追蹤步驟進一步包含以下步驟：

在該空間中選擇一給定位置；

參考在該位置處之該子區間之該中心決定之該氣流速度向量；

在該空間中決定下一位置；

對於整個該空間中之 n 數目個位置，重複參考該氣流速度向量及決定下一位置之該等步驟，每次當該下一位

置落在一給定氣流源之一區域內時，指派該給定位置至該給定氣流源。

14. 如請求項13所述之方法，其進一步包含以下步驟：

在一位置未落入一給定氣流源之該區域內時，對執行該重複步驟之次數配置一極限。

15. 如請求項14所述之方法，其進一步包含以下步驟：

每當該下一位置未落入一氣流源之該區域內時，決定該重複步驟是否已經執行過多次。

16. 如請求項14所述之方法，其進一步包含以下步驟：

每當達到該極限時，指定該給定位置為不與一溫度帶相關。

17. 一種用於在一空間中模型化溫度帶之電腦程式產品，該電腦程式產品包括一機器可讀取媒體，該機器可讀取媒體包含一或多個程式，該一或多個程式當經執行時實施如下之步驟：

提供該空間之一圖形表示；

在該空間中界定至少一個區間(domain)以用於模型化；

藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立一網格，該等子區間將複數個節點互連；

在該區間中識別氣流源及氣流槽；

自該等氣流源及氣流槽中之一或多個獲得氣流測定；

使用自該等氣流源及氣流槽中獲得之該氣流測定以決定每個子區間之一中心處之一氣流速度向量；及

追蹤每個速度向量至該等氣流源之一，其中至該等氣流源中之一給定氣流源之跡線之一組合代表在該空間中之一溫度帶。

18. 一種用於在一空間中模型化溫度帶之裝置，該裝置包括：

一記憶體；及

至少一個處理器設備，其耦接至該記憶體，該處理器設備操作以：

提供該空間之一圖形表示；

在該空間中界定至少一個區間以用於模型化；

藉由將該區間再分為一組分散的子區間以在該區間中建立一網格，該等子區間將複數個節點互連；

在該區間中識別氣流源及氣流槽；

自該等氣流源及氣流槽中之一或多個獲得氣流測定；

使用自該等氣流源及氣流槽中獲得之該氣流測定來決定每個子區間之一中心處之一氣流速度向量；及

追蹤每個速度向量至該等氣流源之一，其中至該等氣流源中之一給定氣流源之跡線之一組合代表在該空間中之一溫度帶。

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (2) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

200	方 法
202	步 驟
204	步 驟
206	步 驟
208	步 驟
210	步 驟
212	步 驟
214	步 驟
216	步 驟

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無