



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201604686 A

(43)公開日：中華民國 105 (2016) 年 02 月 01 日

(21)申請案號：103125528

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 07 月 25 日

(51)Int. Cl.：

*G06F11/30 (2006.01)**G06F1/20 (2006.01)**G01K7/16 (2006.01)**G01K7/34 (2006.01)*

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：曹孝櫟 TSAO, SHIAO LI (TW)；黃培書 HUANG, PEI SHU (TW)；陳冠中 CHEN, QUAN CHUNG (TW)

(74)代理人：葉璟宗；詹東穎；劉亞君

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：14 項 圖式數：6 共 27 頁

(54)名稱

微處理器溫度推算方法及其電腦系統

TEMPERATURE ESTIMATING METHOD OF MICROPROCESSOR AND COMPUTER SYSTEM USING THE SAME

(57)摘要

本發明提供一種微處理器溫度推算方法及其電腦系統，其中微處理器包括多個功能區塊，所述方法包括以下步驟。取得微處理器所對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。取得取樣時間區間內對應於各功能區塊的效能計數值。將對應於各功能區塊的效能計數值轉換為消耗功率值。接著，根據消耗功率值以及溫度模型計算得到一溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於取樣時間區間各功能區塊的溫度值。本發明提供一種微處理器溫度的推算方法及其電腦系統，使得微處理器不需外加任何溫度或電流的感測器即可快速的推測各功能區塊的溫度資訊。

A temperature estimating method of a microprocessor and system using the same are provided, where the microprocessor includes a plurality of functional blocks. The method includes the following steps: deriving a thermal model corresponding to the microprocessor, where the thermal model is equivalent to a plurality of low-pass filter structures; deriving a performance counter values corresponding to each of the functional blocks in a sampling time interval; transforming the performance counter value corresponding to each of the functional blocks to a power consumption value; deriving a temperature distribution according to the power consumption values and the thermal model, where the temperature distribution includes a temperature value of each functional block in the sampling time interval. With the proposed method and computer system, functional level temperatures of a microprocessor can be fast derived without a need of temperature and current sensors.

指定代表圖：

符號簡單說明：
S201~S204 . . . 溫度推算方法的流程步驟

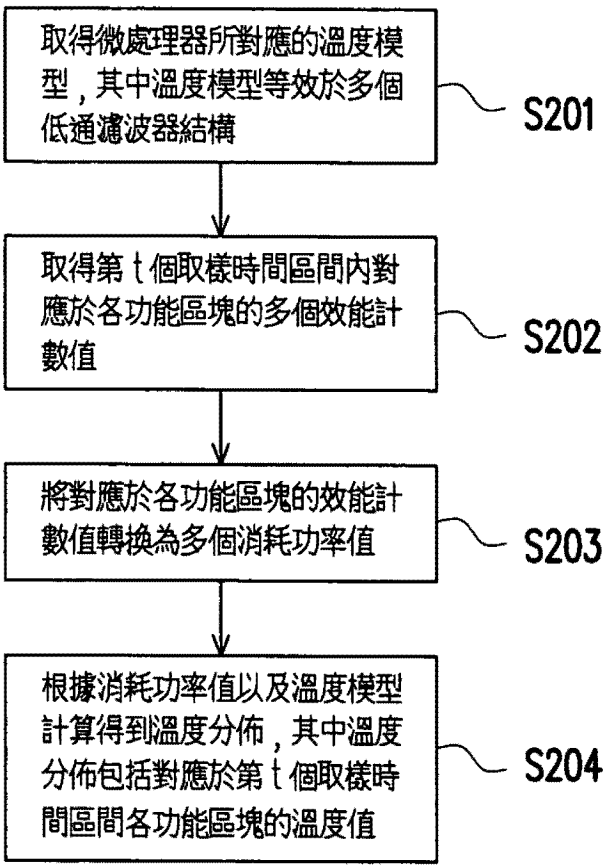


圖 2

發明摘要

※ 申請案號：103175528

※ 申請日：103.7.25

※ IPC 分類：G06F1/30 2006.01

G06F1/50 2006.01

G01K7/16 2006.01

G01K9/34 2006.01

【發明名稱】

微處理器溫度推算方法及其電腦系統

TEMPERATURE ESTIMATING METHOD OF MICROPROCESSOR
AND COMPUTER SYSTEM USING THE SAME

【中文】

本發明提供一種微處理器溫度推算方法及其電腦系統，其中微處理器包括多個功能區塊，所述方法包括以下步驟。取得微處理器所對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。取得取樣時間區間內對應於各功能區塊的效能計數值。將對應於各功能區塊的效能計數值轉換為消耗功率值。接著，根據消耗功率值以及溫度模型計算得到一溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於取樣時間區間各功能區塊的溫度值。本發明提供一種微處理器溫度的推算方法及其電腦系統，使得微處理器不需外加任何溫度或電流的感測器即可快速的推測各功能區塊的溫度資訊。

【英文】

A temperature estimating method of a microprocessor and system using the same are provided, where the microprocessor includes a plurality of functional blocks. The method includes the following

steps: deriving a thermal model corresponding to the microprocessor, where the thermal model is equivalent to a plurality of low-pass filter structures; deriving a performance counter values corresponding to each of the functional blocks in a sampling time interval; transforming the performance counter value corresponding to each of the functional blocks to a power consumption value; deriving a temperature distribution according to the power consumption values and the thermal model, where the temperature distribution includes a temperature value of each functional block in the sampling time interval. With the proposed method and computer system, functional level temperatures of a microprocessor can be fast derived without a need of temperature and current sensors.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 2。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S201～S204：溫度推算方法的流程步驟

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

微處理器溫度推算方法及其電腦系統

TEMPERATURE ESTIMATING METHOD OF MICROPROCESSOR
AND COMPUTER SYSTEM USING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種方法及其電腦系統，且特別是有關於一種電腦系統中微處理器的溫度推算方法。

【先前技術】

【0002】 隨著近代技術進步，目前在微處理器上所容納的電晶體密度迅速上升，伴隨而來的現象為微處理器上單位面積消耗功率大幅上升，不僅導致微處理器平均運作溫度上升，並且還導致微處理器運作時溫度梯度加劇以及諸多區域熱點（Hot Spot）出現，這些現象最後會引發微處理器的漏電流（Leakage Current）上升、時脈偏移（Clock Skew）、系統故障（System Failure）、可靠度（Reliability）及性能（Performance）降低。因而近幾年諸多動態溫度管理（Dynamic Thermal Management, DTM）技術被提出以解決上述所提及問題，然則這些技術皆需取得精確的溫度分佈資訊做為決策基礎。

【0003】 微處理器上的溫度管控技術可有效提升其可靠度與效能

及降低漏電效應等，這些技術皆須取得精確及精準的溫度訊息以做正確決策。目前多採用由額外設置於微處理器上的溫度感測器取得溫度數值，但有諸多限制以至於會使溫度管控無法做出正確決策。另一方面溫度訊息可由溫度模型運算而得，然而目前模型皆過於複雜以至於多用於模擬，無法在動態提供訊息。

【發明內容】

【0004】 本發明提供一種微處理器溫度推算方法及其電腦系統，可快速的取得微處理器中各功能區塊的溫度資訊。

【0005】 本發明提出一種電腦系統，其包括微處理器以及處理單元。微處理器包括多個功能區塊以及效能計數器，其中效能計數器耦接於各功能區塊。處理單元耦接於效能計數器。處理單元取得微處理器所對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。處理單元從效能計數器取得第 t 個取樣時間區間內對應於各功能區塊的效能計數值。處理單元將對應於各功能區塊的效能計數值轉換為消耗功率值。處理單元又根據消耗功率值以及溫度模型計算得到溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各功能區塊的溫度值。

【0006】 本發明另提出一種微處理器的溫度推算方法，其中微處理器包括多個功能區塊，包括以下步驟。首先，取得微處理器所對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。然後，取得第 t 個取樣時間區間內對應於各功能區塊的效能計數值。

接著，將對應於各功能區塊的效能計數值轉換為消耗功率值。之後，根據消耗功率值以及溫度模型計算得到溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各功能區塊的溫度值。

【0007】 基於上述，本發明所提供的微處理器溫度的推算方法及其電腦系統，使得微處理器不需外加任何溫度或電流的感測器即可快速的推測各功能區塊的溫度資訊。

【0008】 為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0009】

圖 1 為一種習知的微處理器的溫度模型的結構示意圖。

圖 2 為根據本發明一實施例所繪示微處理器的溫度推算方法之流程圖。

圖 3 為根據本發明一實施例所繪示微處理器的功能方塊圖。

圖 4 為根據本發明一實施例所繪示兩個相鄰的功能區塊之溫度模型的等效電路圖。

圖 5 為根據本發明一實施例所繪示第 i 個功能區塊之溫度模型的等效電路圖。

圖 6 為根據本發明一實施例所繪示微處理器的溫度推算方法的流程圖。

【實施方式】

【0010】 一般而言，評估微處理器運作時的溫度的分佈及變化之方法主要可分為感測器偵測法（Sensor-based Approaches）以及推算法（Emulation-based Approaches）。

【0011】 使用感測器偵測法時，微處理器上需額外設置一或多個溫度感測器（Thermal Sensor）或是電流感測器（Current Sensor），其後再於微處理器運作期間讀取這些溫度感測器或電流感測器的量測值。然而，溫度感測器或電流感測器偵測法具有諸多限制，例如，就現有技術而言，溫度感測器以及電流感測器所能達到之量測精準度為 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，而這樣 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的誤差將會影響微處理器的動態溫度管理之策略效率。再者，於微處理器上嵌入溫度感測器或電流感測器則會導致微處理器的晶片面積增大，同時亦使製造成本增加。此外，由於微處理器上的功能方塊（functional blocks）的設置並無法隨意的更動，溫度感測器以及電流感測器亦沒有辦法隨意的設置於微處理器上的任意位置。

【0012】 另一方面，使用推算法時，則由微處理器耗能資訊代入各式溫度模型予以進行模擬或運算。就現有技術而言，推算法亦有許多限制。例如，習知模型皆過於複雜進而導致取得溫度資訊時所需計算時間過長且需大量記憶體，難以被即時的用於動態溫度管理。

【0013】 圖 1 為一種習知的微處理器的溫度模型的結構示意圖。如圖 1 所示，微處理器 10 包括了晶片 110、熱傳導器(heat spreader)

120 以及散熱器 (heat sink) 130，並且晶片 110、熱傳導器 120 以及散熱器 130 以圖 1 所示的方式相疊設置，即，晶片 110 設置於熱傳導器 120 上，而熱傳導器 120 設置於散熱器 130 之上。而在圖 1 所示微處理器 10 中，晶片 110 上包括了 3 個功能區塊 B1、B2 以及 B3。在這樣的溫度模型中，微處理器 10 中的所有熱傳導情形皆被轉化以熱電阻和熱電容來表示熱傳導率的倒數以及熱容。微處理器 10 的周遭溫度 (ambient temperature) 則由接地符號表示。例如，在圖 1 中，熱電阻 R1 用以表示從功能區塊 B1 的中心功率輸入點至功能區塊 B3 的熱傳導率的倒數，而熱電阻 R2 則用以表示從功能區塊 B1 的中心功率輸入點至功能區塊 B2 的熱傳導率的倒數。而熱電阻 R3、R4 則分別用以表示功能區塊 B3 的中心功率輸入點至功能區塊 B1、B2 的熱傳導率的倒數。而熱電阻 R_{sp} 、 R_{hs} 、以及 R_{co} 則分別代表熱傳導器 120 的熱傳導率的倒數、散熱器 130 的熱傳導率的倒數，以及散熱器 130 至周遭環境（對應於標示為接地符號的周遭溫度）的熱傳導率的倒數。

【0014】 而由圖 1 所示的微處理器 10 的溫度模型可知，熱電阻以及熱電容的關係十分複雜，若是以這樣溫度模型對各功能區塊 B1 ~ B3 的溫度進行推算，則將會耗費相當大的運算資源以及記憶體，因此無法直接使用於動態期間推算得溫度資訊。

【0015】 本發明中所提出的微處理器的溫度推算方法由上述藉由微處理器的溫度模型的推算法之概念出發，可快速取得溫度資訊和耗用極小記憶體的特性，使其適用於微處理器運作時，迅速計

算出微處理器的溫度分佈狀況。以下則將透過實施例以及圖示詳細說明。

【0016】圖 2 為根據本發明一實施例所繪示微處理器的溫度推算方法之流程圖。其中，微處理器中包括多個功能區塊（如圖 1 所示功能區塊 B1～B3）。請參照圖 2，首先在步驟 S201 時，取得微處理器材質與環境參數並藉以建立對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。然後在步驟 S202 時，取得第 t 個取樣時間區間內對應於各功能區塊的效能計數值。接著在步驟 S203 時，將對應於各功能區塊的效能計數值轉換為消耗功率值。在步驟 S204 時，根據消耗功率值以及溫度模型計算得到溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各功能區塊的溫度值。

【0017】圖 3 為根據本發明一實施例所繪示電腦系統的功能方塊圖。請參照圖 3，在本實施例中，電腦系統 100 包括微處理器 10 以及處理單元 140。微處理器 10 則包括了效能計數器 150，以及多個功能區塊（如圖 1 所示功能區塊 B1～B3）。效能計數器 150 耦接各功能區塊，而電腦系統 100 的處理單元 140 耦接效能計數器 150。

【0018】處理單元 140 取得微處理器 10 所對應的溫度模型，其中溫度模型等效於多個低通濾波器結構。處理單元從效能計數器取得第 t 個取樣時間區間內對應於各功能區塊的多個效能計數值 CV。處理單元將對應於各功能區塊的效能計數值 CV 轉換為多個

消耗功率值。以及，處理單元根據消耗功率值以及溫度模型計算得到溫度分佈，其中溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各功能區塊的溫度值。

【0019】 在本實施例中，處理單元 140 可為圖 1 所示微處理器 10 中晶片 110 的主要處理單元（並對應於區塊 B1~B3 之一），而處理單元 140 於運作上述溫度推算方法外亦可同時/分時的方式執行其他工作（task）。處理單元 140 亦可為獨立建置於晶片 110 中的處理單元，僅針對上述溫度推算方法進行運算及處理，並將得到的結果（例如微處理器 10 的溫度分佈）傳送至晶片 110 中的主要處理單元。

【0020】 在本發明中，微處理器所對應的溫度模型即包括了各功能區塊的於熱傳導情形時的等效電路。而在本實施例中，各功能區塊的等效電路經過簡化而成為等同於多階低通濾波器之結構。以下則將配合圖式說明此簡化過程。

【0021】 圖 4 為根據本發明一實施例所繪示兩個相鄰的功能區塊之溫度模型的等效電路圖。此兩相鄰的功能區塊在此實施例中以第 i 個區塊以及第 j 個區塊作為表示，可對應於圖 1 所示結構中功能區塊 B1~B3 中之兩個功能區塊。

【0022】 請參照圖 4，在第 i 個功能區塊中，具有提供電流 I_i 的電流源 IS_i （電流 I_i 即為輸入功率 I_i ）、其內部的熱電阻 R_{ifi} （即對應於第 i 個功能區塊的介面材料的熱傳導率的倒數），以及與周遭環境之間的熱電容 C_i （對應於第 i 個功能區塊與周遭環境間的熱

容)。在第 j 個功能區塊中，具有提供電流 I_j 的電流源 IS_j (電流 I_j 即為輸入功率 I_j)、其內部的熱電阻 R_{ifi} (即對應於第 j 個功能區塊的介面材料的熱傳導率的倒數)，以及與周遭環境之間的熱電容 C_j (對應於第 j 個功能區塊與周遭環境間的熱容)。而第 i 個功能區塊以及第 j 個功能區塊間則包括了電阻 R_{ij} ，用來表示第 i 個功能區塊以及第 j 個功能區塊之間的熱傳導率之倒數。第 i 個功能區塊以及第 j 個功能區塊並同時透過熱電阻 R_{sp} 、 R_{hs} 以及 R_{co} 連接至周遭環境。熱電阻 R_{sp} 、 R_{hs} 以及 R_{co} 則分別與圖 1 所示相同地，為熱傳導器 120 的熱傳導率的倒數、散熱器 130 的熱傳導率的倒數，以及散熱器 130 至周遭環境 (對應於標示為接地符號的周遭溫度 V_a) 的熱傳導率的倒數。熱傳導器 120 以及散熱器 130 則分別亦具有與周遭環境之間的熱電容 C_{sp} 、 C_{hs} 。

【0023】在此溫度模型中，熱傳導的流向可分為兩類，其一為垂直熱傳導路徑，其為由熱源直接傳導至周邊溫度 (Ambient Temperature) 的路徑，例如由熱電阻 R_{ifi} 、 R_{sp} 、 R_{hs} 以及 R_{co} 所串接而成的熱傳導路徑。而另一則為水平熱傳導路徑，其為各功能區塊間傳導路徑，例如熱電阻 R_{ij} 於第 i 個功能區塊以及第 j 個功能區塊之間的熱傳導路徑。由於微處理器中的矽晶片層 (對應於圖 1 所示晶片 110) 厚度極薄，這樣將使得垂直熱傳導的效率會遠高於水平熱傳導。而由於垂直熱傳導的效率會遠高於水平熱傳導。因此於等效電路中 (如圖 4 所示)，水平熱電阻將遠大於垂直熱電阻總和。

【0024】 因此，在本實施例中，將先忽略第 i 個功能區塊間以及第 j 個功能區塊間的水平電阻(即，熱電阻 R_{ij})並予以開路。這樣的運算方式會使得推算的溫度具有一定的誤差，但經實驗證實這樣的誤差仍於可容許的範圍內。接著，在將水平電阻開路後，各個功能區塊（例如，第 i 個功能區塊間以及第 j 個功能區塊）則將形成多階低通濾波器（Multi-order Low-pass Filter）結構，例如 N 階低通濾波器，其中 N 為大於等於 1 的正整數，並且因而可使用多階低通濾波器等效公式進行運算溫度狀態。

【0025】 然而由於微處理器中包含管線（Pipeline）及多工（Multi-task）技術，所以每個功能區塊的功率消耗隨時間變化甚劇，使得輸入電流源 I_i 、 I_j 可被視為高頻信號，所以在多階低通濾波器主宰高頻訊號的電容（即，熱電容 C_i ）會有顯著效應，而其餘電容（例如，熱電容 C_{sp} 以及 C_{hs} ）影響較小。因此，在本實施例中，將僅考慮熱電容 C_i （熱電容 C_j ）的效率而忽略熱電 C_{sp} 以及 C_{hs} 的影響，使得第 i 個功能區塊（第 j 個功能區塊）形成為單階的濾波器結構。

【0026】 經由上述對熱電阻和熱電容的簡化後，第 i 個功能區塊的等效電路圖即如圖 5 所示。圖 5 為根據本發明一實施例所繪示第 i 個功能區塊之溫度模型的的等效電路圖。請參照圖 5，在本實施例中，第 i 個功能區塊之溫度模型的的等效電路即為一單階濾波器結構，具有並聯的熱電阻 R_{vi} 和熱電容 C_i ，其中熱電阻 R_{vi} 即為圖 3 所示之熱電阻 R_{ifi} 、 R_{sp} 、 R_{hs} 及 R_{co} 所串聯而成。電流源 IS_i 所提供

的電流 I_i 即為輸入功率，而電流 I_{Rvi} 及電流 I_{Ci} 分別可視為分流至熱電阻 R_{vi} 及熱電容 C_i 的功率。藉此，輸入功率（即，電流 I_i ）即可被表示同下式（1）：

$$I_i = I_{Rvi} + I_{Ci} \quad (1)$$

轉換上式(1)後，電流 I_{Rvi} 則可被表示為下式（2）：

$$I_{Rvi} = I_i - R_{vi} C_i \frac{dI_{Rvi}}{dt} \quad (2)$$

進一步將取樣時間區間 t 以及前一個取樣時間區間 $(t - \Delta t)$ （例如， $\Delta t = 1$ 前一個取樣時間區間即為第 $t-1$ 個取樣時間區間）的關係帶入上式（2），則可以得到以下式（3）：

$$I_{Rvi}(t) = I_i(t) - R_{vi} C_i \frac{I_{Rvi}(t) - I_{Rvi}(t - \Delta t)}{\Delta t} = \alpha_i I_i(t) + (1 - \alpha_i) I_{Rvi}(t - \Delta t), \quad (3)$$

其中

$$\alpha_i = \frac{\Delta t}{R_{vi} C_i + \Delta t} \text{ and } R_{vi} = R_{ifi} + R_{sp} + R_{hs} + R_{co}$$

電流 $I_{Rvi}(t)$ 即為目前取樣時間區間 t 的輸入功率，而電流 $I_{Rvi}(t - \Delta t)$ 則為前一個取樣時間區間 $(t - \Delta t)$ 的輸入功率。然後，藉由上式（3），配合周邊溫度 V_a ，則可以得到第 i 個功能區塊於取樣時間區間 t 的溫度值 $V_i(t)$ 為：

$$V_i(t) = I_{Rvi}(t) R_{ifi} + \left[\sum_{FB_y \in FB} I_{Rvy}(t) \right] (R_{sp} + R_{hs} + R_{co}) + V_a \quad (4)$$

其中，上式中 FB_y 表示功能區塊 y ，電流 $I_{Rvy}(t)$ 則表示為功能區塊 y 上分流至其熱電阻 R_{vy} 的功率。FB 代表所有功能區塊所成集合。例如，圖 1 所示實施例中的功能區塊 B1～B3 所形成的集合。因此，

藉由上述式(4)，即可以計算得到第 i 個功能區塊於取樣時間區間 t 的溫度值 $V_i(t)$ 。

【0027】 值得注意的是，在式(4)中所需要的參數包括了取樣時間區間 t 的輸入功率(即，電流 $I_i(t)$)以及前一個取樣時間區間 $(t-\Delta t)$ 分流至熱電阻 R_{vi} 的功率(即，電流 $I_{Rvi}(t-\Delta t)$)以及熱電阻 R_{ifi} 、 R_{sp} 、 R_{hs} 及 R_{co} 、熱電容 C_i 等參數。其中，熱電阻 R_{ifi} 、 R_{sp} 、 R_{hs} 及 R_{co} 和熱電容 C_i 和周邊溫度 V_a 的數值則可根據微處理器 10 中晶片 110、熱傳導器 120 以及散熱器 130 的材料之材料參數以及厚度，和當時的環境溫度而取得。微處理器 10 中的處理單元 140 (如圖 3 所示)則可預先根據上述的參數(材料參數以及厚度和當時的環境溫度)得出熱電阻、熱電容及周邊溫度數值。

【0028】 而取樣時間區間 t 的輸入功率則可由各功能區塊的多個效能計數值 CV 轉換而得(對應於圖 2 步驟 S202)，前一個取樣時間區間 $(t-\Delta t)$ 分流至熱電阻 R_{vi} 的功率則取至於前一個取樣時間區間運算結果。各個功能區塊由於功能之不同，而可能具有不同程度的功率消耗能力。在本發明一實施例中，處理單元 140 中預先建立了各個功能區塊的消耗功率與效能計數值的轉換表，當處理單元從效能計數器 150 取得效能計數值 CV ，處理單元 140 即可透過轉換表以一查表方式將對應於各個功能區塊的效能計數值 CV 轉換為對應於各個功能區塊的消耗功率。而各個功能區塊的消耗功率即為上述溫度模型中的輸入功率。因此，消耗功率即可直接代入上述的式(3)的電流 $I_i(t)$ 當中，各個功能區塊於取樣時間區

間 t 的溫度值（例如第 i 個功能區塊於取樣時間區間 t 的溫度值 $V_i(t)$ ）即可被求得（對應於圖 2 所示步驟 S203）。各個功能區塊於取樣時間區間 t 的溫度值即形成微處理器 10 於取樣時間區間 t 之溫度分佈。再者，在取樣時間區間 t 之分流至熱電阻 R_{vi} 的功率亦將暫存於處理單元中一記憶體（未繪示）中，待下一個時間點（例如時間點 $(t+\Delta t)$ ）時計算取樣時間區間 $(t+\Delta t)$ 的溫度值時可被運用。

【0029】 另一方面，爲了使得微處理器 10 的溫度分佈更爲精確，在本發明一實施例中，在上述圖 5 所示實施例中被省略的水平熱電阻（例如第 i 個功能區塊以及第 j 個功能區塊間的水平熱電阻 R_{ij} ）則被重新併入計算。

【0030】 簡單來說，將水平熱電阻所造成的熱傳導效應將併入式（3）中則可得到下式（5）：

$$I_{R_{vi}}(t) = \alpha_i \cdot I_i(t) + (1 - \alpha_i) \cdot I_{R_{vi}}(t - \Delta t) + \sum_{FB_y \in FBA_i} \frac{V_i(t) - V_y(t)}{R_{iy}} \quad (5)$$

其中，上述式（5）中的後項即爲由水平熱電阻所造成的熱傳導效應。於上述式（5）中， FBA_i 代表與第 i 個功能區塊相鄰的功能區塊所形成之集合。然而，在上述式（5）中，溫度值 $V_i(t)$ 及 $V_y(t)$ 須不斷疊代取得，這樣的運算須消耗大量的運算時間。但由於上述於圖 4、5 所示實施例之敘述可知，各個功能區塊的溫度模型之等效電路將形成低通濾波器結構，其代表則代表著上溫度隨時間變化不會過於劇烈，因此：

$$\forall FB_y \in FBA_i, \frac{V_i(t) - V_y(t)}{R_{iy}} = \frac{V_i(t - \Delta t) - V_y(t - \Delta t)}{R_{iy}} \quad (6)$$

再者，根據式（6），則可改寫式（5）為式（7）：

$$I_{Rvi}(t) = \alpha_i \cdot I_i(t) + (1 - \alpha_i) \cdot I_{Rvi}(t - \Delta t) + \sum_{FB_j \in FBA_i} \frac{I_{Rvi}(t - \Delta t) \cdot R_{ifl} - I_{Rvi}(t - \Delta t) \cdot R_{ify}}{R_{iy}} \quad (7)$$

然後，將式（7）帶入式（4），即可得到第 i 個功能區塊於取樣時間區間 t 的溫度值 $V_i(t)$ 為式（8）：

$$V_i(t) = (\alpha_i \cdot I_i(t) + (1 - \alpha_i) \cdot I_{Rvi}(t - \Delta t) + \sum_{FB_j \in FBA_i} \frac{I_{Rvi}(t - \Delta t) \cdot R_{ifl} - I_{Rvi}(t - \Delta t) \cdot R_{ify}}{R_{iy}}) \cdot R_{ifl} \\ + [\sum_{FB_z \in FB} \alpha_z \cdot I_z(t) + (1 - \alpha_z) \cdot I_{Rvz}(t - \Delta t)](R_{sp} + R_{hs} + R_{co}) + V_A \quad (8)$$

如此一來，便可以藉由併入水平熱傳導效應（即，包括區塊間的水平熱電阻之熱傳導路徑）的考量，而使得計算得到的溫度分佈更加的精確。

【0031】 值得注意的是，於圖 5 所示的實施例中，為了將各個功能區塊之溫度模型的等效電路簡化為單階低通濾波器結構時，除了省略上述提到的水平熱傳導效應的考量外，亦同時省略了熱電容 C_{sp} 以及 C_{hs} 對溫度所產生的效應。因此，在本發明一實施例中，亦可再考慮水平熱傳導效應外，亦將熱電容 C_{sp} 以及 C_{hs} 對溫度所產生的效應併入溫度分佈的計算。然而，如圖 5 所示的等效電路在併入熱電容 C_{sp} 以及 C_{hs} 所產生的效應之考量後，將形成多階的低通濾波器結構，其所對應的溫度值計算將比圖 5 所示的單階低通濾波器結構之等效電路複雜許多。因此，是否併入熱電容 C_{sp} 以及 C_{hs} 所產生的效應之考量則可視實際實施時的狀況而定。

【0032】 圖 6 為根據本發明一實施例所繪示微處理器的溫度推算方法的流程圖。相較於圖 2 所示實施例，圖 6 所示實施例提供了一種較為詳細的實施方式。其中，圖 2 中步驟 S201 可對應於圖 6

所示實施例中步驟 S601～S603，步驟 S202～S203 可對應於圖 6 所示實施例中步驟 S604，而步驟 S204 則可對應於圖 6 所示實施例中步驟 S605～S608。

【0033】請參照圖 6 以及圖 2，首先，處理單元 140 將讀取環境參數（步驟 S601），例如微處理器 10 中各元件之材料參數以及厚度，和當時的環境溫度等，並根據環境參數以及微處理器 10 中各功能區塊的分佈以及相鄰情形建立微處理器 10 的溫度模型（步驟 S602）。接著，處理單元 140 則根據上述微處理器 10 的溫度模型計算各功能區塊對應於式（4）中的 α 值（步驟 S603）。其中， α 值可由各功能區塊中的熱電阻以及熱電容所計算得到，並且對應於各功能區塊前一時間點的輸入功率與目前的輸出功率與各功能區塊目前的溫度值所造成的影響之比例關係。

【0034】然後，處理單元 140 則從效能計數器 150 讀取對應於各功能區塊的效能計數值，並以查表方式根據功能區塊的功率消耗能力轉換各功能區塊的效能計數值為各功能區塊的消耗功率值（步驟 S604）。接著，根據式（4），處理單元 140 即可取得在目前（即，取樣時間區間 t 內，或稱第 t 個取樣時間區間內）內各個功能區塊的溫度值，也就是微處理器 10 於取樣時間區間 t 內的溫度分佈（步驟 S605）。

【0035】再者，處理單元 140 更可根據水平熱傳導效應更新上述於取樣時間區間 t 內的溫度分佈，也就是針對各功能區塊分別計算得到式（8）中的後兩項後，加入上述的溫度分佈中（S606）。而

此步驟可根據實際狀況選擇性的實施，例如在需要較精確的溫度分佈結果時，或是當處理單元 140 的於執行對應於溫度推算方法的程序外之工作量較低時實施，但本發明並不限定於上述。

【0036】 處理單元 140 於取得目前的溫度分佈後，則更進一步的判斷是否可從效能計數器 150 取得下一個取樣時間區間（即，取樣時間區間 $(t+\Delta t)$ ）時各功能區塊的效能計數值。若否，則代表微處理器 10 已停止運作，可結束對應於溫度推算方法的程序。若是，處理單元 140 則儲存目前的溫度分佈，並設定取樣時間區間 t 等於 $(t+\Delta t)$ ，重新執行步驟 S604～S607，以輸出取樣時間區間 $(t+\Delta t)$ 的溫度分佈。

【0037】 值得注意的是，處理單元並不需要在每次執行對應於微處理器的溫度推算方法的程序時重新執行步驟 S601～S603，可於第一次執行對應於溫度推算方法的程序時執行，並且將執行後的結果（對應於各功能區塊的等效電路以及 α 值等）儲存於處理單元中的記憶體中。

【0038】 綜上所述，本發明所提出了一種微處理器的溫度估算方法以及包括上述微處理器的電腦系統，使用微處理器中效能計數器所輸出的對應於微處理器中各功能區塊的效能計數值，以及簡化後的溫度模型推算微處理器的溫度分佈。由於效能計數器一般已設置於微處理器中，微處理器則不需在爲了取得溫度分佈而額外設置溫度感測器或電流感測器。另一方面，由於簡化後的溫度模型可加速溫度分佈的推算，使得上述的溫度分佈可適用於動態

提供溫度訊息，因此，微處理器可以更即時的針對當下的溫度狀況進行處置。並且，經由實驗證明，於本發明中所提出的溫度模型與現有的溫度模型（例如圖 1 所示）相比，使用本發明所提出的溫度模型更可將推算溫度的精準度之誤差降低於正負 0.8℃ 以內，並且計算速度至少為現有技術的 5 倍，所需使用的記憶體大小亦為現有技術的 0.45% 以下。

【0039】 雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0040】

10：微處理器

110：晶片

120：熱傳導器

130：散熱器

140：處理單元

150：效能計數器

100：電腦系統

CV：效能計數值

B1～B3：功能區塊

$R_1 \sim R_3$ 、 R_{sp} 、 R_{hs} 、 R_{co} 、 R_{ifi} 、 R_{ifj} ：熱電阻

R_{ij} ：水平熱電阻

C_i 、 C_{sp} 、 C_{hs} ：熱電容

IS_i 、 IS_j ：電流源

I_i 、 I_j ：電流/輸入功率

S201～S204、S601～S608：溫度推算方法的流程步驟

V_a ：周遭溫度

申請專利範圍

1. 一種微處理器的溫度推算方法，其中該微處理器包括多個功能區塊，包括：

取得該微處理器所對應的一溫度模型，其中該溫度模型等效於多個低通濾波器結構；

取得第 t 個取樣時間區間內對應於各所述功能區塊的一效能計數值；

將對應於各所述功能區塊的該效能計數值轉換為一消耗功率值；以及

根據所述消耗功率值以及該溫度模型計算得到一溫度分佈，其中該溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各所述功能區塊的一溫度值。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的微處理器的溫度推算方法，其中上述取得該微處理器所對應的該溫度模型的步驟包括：

取得各所述功能方塊的所對應的一等效電路，其中各所述等效電路包括多個熱電阻以及 N 個熱電容，其中 N 為大於或等於 1 的正整數；以及

根據多個環境參數以及各所述功能方塊所對應該等效電路，建立該微處理器的該溫度模型。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的微處理器的溫度推算方法，其中各所述低通濾波器結構為 N 階濾波器結構。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的微處理器的溫度推算方法，

其中上述將對應於各所述功能區塊的該效能計數值轉換為該消耗功率值的步驟包括：

根據一轉換表，以一查表方式轉換對應於各所述功能區塊的該效能計數值為對應於各所述功能區塊的該消耗功率值。

5.如申請專利範圍第 1 項所述的微處理器的溫度推算方法，其中上述將對應於各所述功能區塊的該效能計數值轉換為該消耗功率值的步驟包括：

根據一轉換公式，將所述功能區塊的該效能計數值代入公式得到對應於各所述功能區塊的該消耗功率值。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的微處理器的溫度推算方法，其中上述根據所述消耗功率值以及該溫度模型計算得到該溫度分佈的步驟包括：

根據該溫度模型、各所述功能區塊於第 t 個取樣時間區間的該消耗功率值、各所述功能區塊於第 $t-1$ 個取樣時間區間的該消耗功率值以及一周遭溫度計算得到各所述功能區塊於第 t 個取樣時間區間的該溫度值。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述的微處理器的溫度推算方法，其中上述根據所述消耗功率值以及該溫度模型計算得到該溫度分佈的步驟更包括：

計算各所述功能區塊的一水平熱傳導效應；以及

根據各所述功能區塊的該水平熱傳導效應更新該溫度分佈。

8.一種電腦系統，包括：

一微處理器，其中該微處理器包括多個功能區塊以及耦接各所述功能區塊的一效能計數器；

一處理單元，耦接該效能計數器，其中：

該處理單元取得該微處理器所對應的一溫度模型，其中該溫度模型等效於多個低通濾波器結構；

該處理單元從該效能計數器取得第 t 個取樣時間區間內對應於各所述功能區塊的一效能計數值；

該處理單元將對應於各所述功能區塊的該效能計數值轉換為一消耗功率值；以及

該處理單元根據所述消耗功率值以及該溫度模型計算得到一溫度分佈，其中該溫度分佈包括對應於第 t 個取樣時間區間各所述功能區塊的一溫度值。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：該處理單元取得各所述功能方塊的所對應的一等效電路，其中所述等效電路包括多個熱電阻以及 N 個熱電容，其中 N 為大於或等於 1 的正整數；以及

該處理單元根據多個環境參數以及各所述功能方塊的所對應該等效電路建立該微處理器的該溫度模型。

10. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：

低通濾波器結構為 N 階濾波器結構。

11. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：該處理單元根據一轉換表，以一查表方式轉換對應於各所述功能區塊的

該效能計數值為對應於各所述功能區塊的該消耗功率值。

12. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：

該處理單元根據一轉換公式，將所述功能區塊的該效能計數值代入公式得到對應於各所述功能區塊的該消耗功率值。

13. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：

該處理單元根據該溫度模型、各所述功能區塊於第 t 個取樣時間區間的該消耗功率值、各所述功能區塊的於第 $t-1$ 個取樣時間區間的各該消耗功率值以及一周遭溫度計算得到各所述功能區塊於第 t 個取樣時間區間的該溫度值。

14. 如申請專利範圍第 8 項所述的電腦系統，其中：

該處理單元計算各所述功能區塊的一水平熱傳導效應；以及

該處理單元根據該各所述功能區塊的該水平熱傳導效應更新該溫度分佈。

圖式

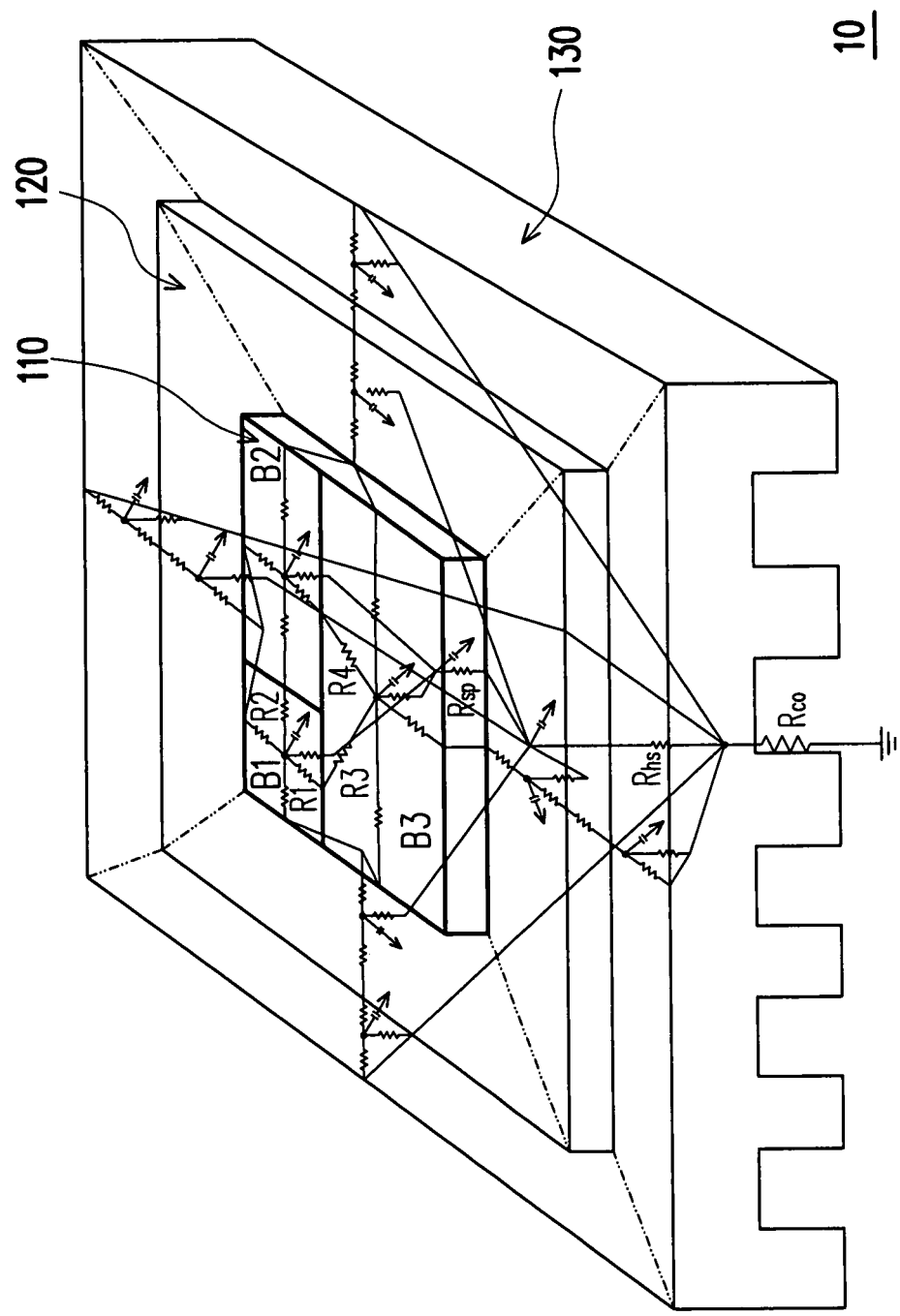


圖 1

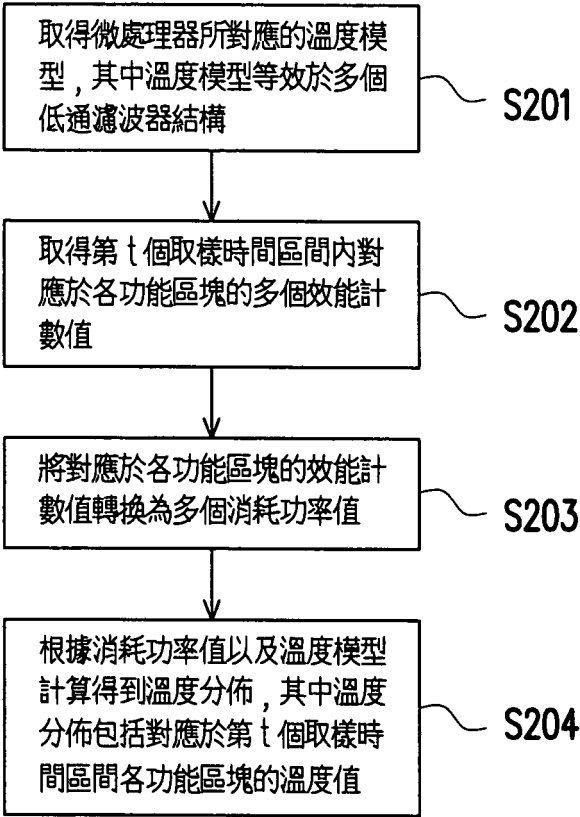


圖 2

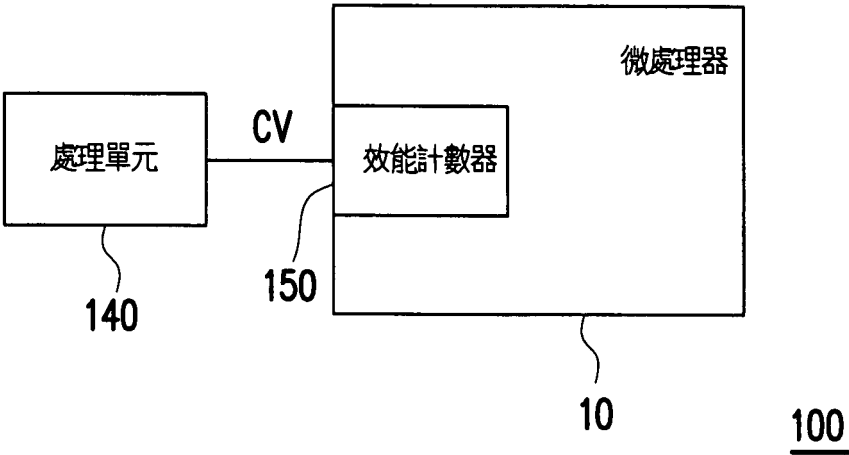


圖 3

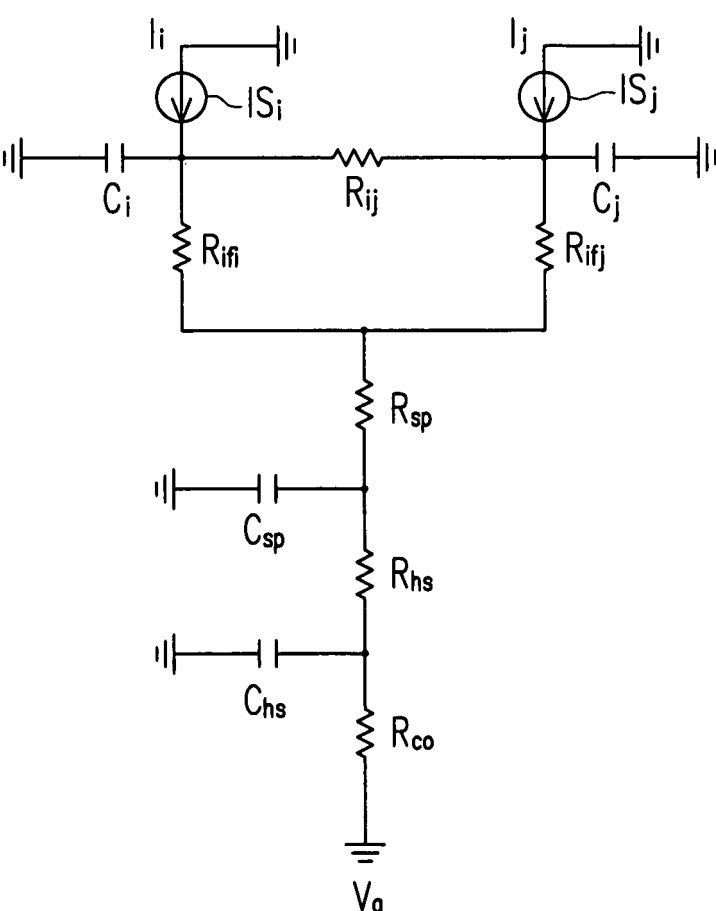


圖 4

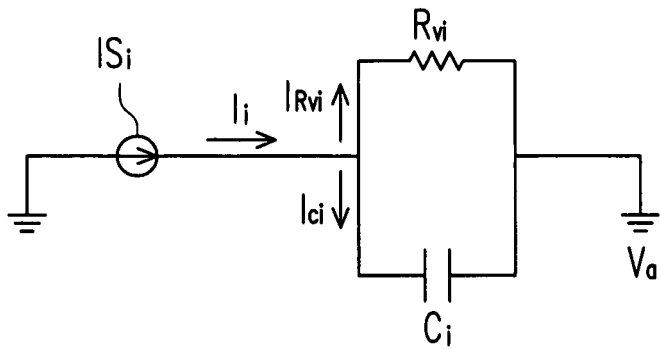


圖 5

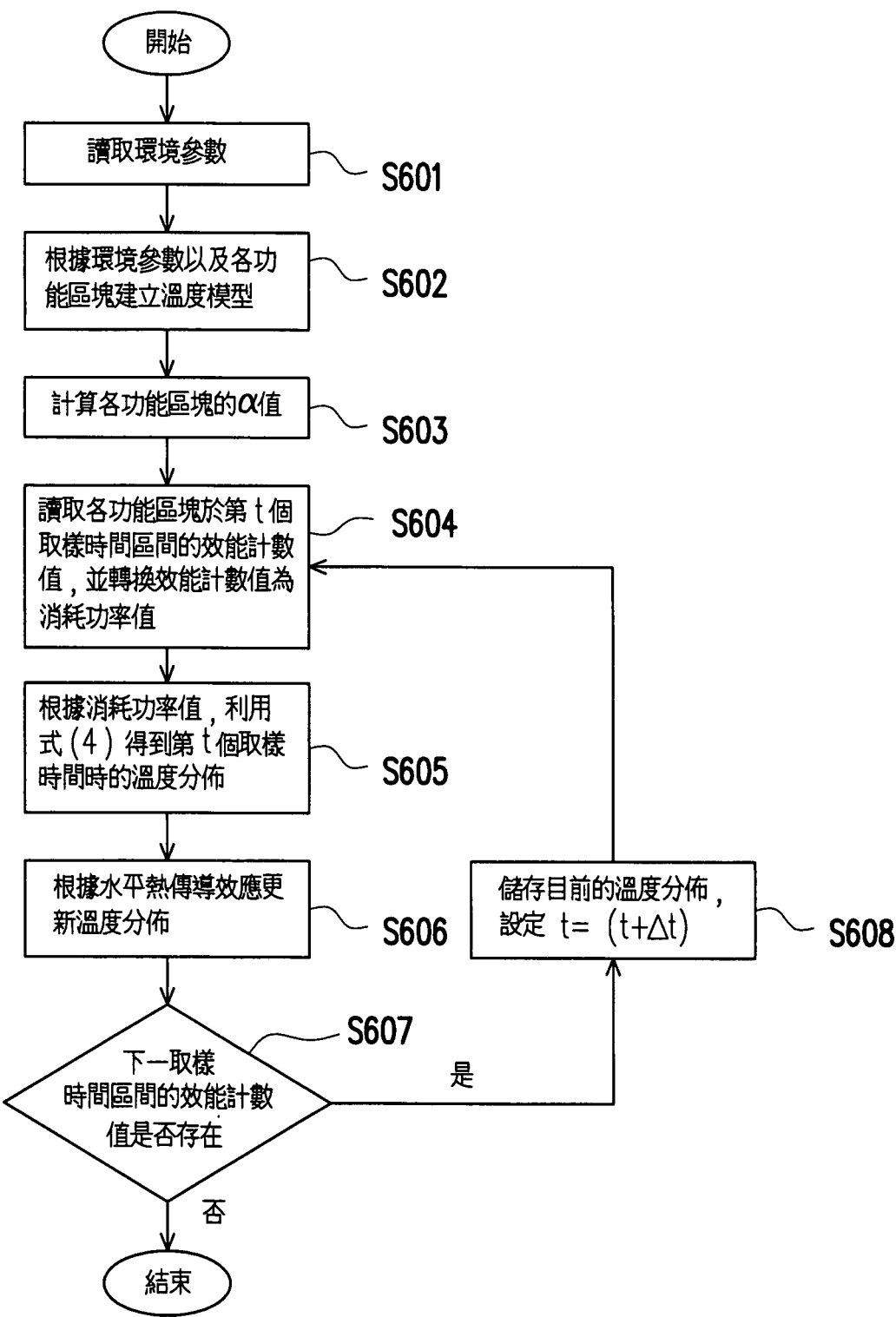


圖 6