



(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 201606701 A

(43)公開日：中華民國 105 (2016) 年 02 月 16 日

(21)申請案號：103128118

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 15 日

(51)Int. Cl.：

G06T11/00 (2006.01)

G06T7/00 (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：陳佩珊 CHEN, PEI SHAN (TW)；黃世強 WONG, SAI-KEUNG (HK)；林文杰 LIN, WEN CHIEH (TW)；蔡文祥 TSAI, WEN HSIANG (TW)

(74)代理人：高玉駿；楊祺雄

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：4 共 23 頁

(54)名稱

水畫模擬方法及電腦程式產品

WATER PAINTING SIMULATION METHOD AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

(57)摘要

一種水畫模擬方法，由一處理器執行，包含以下步驟：(A)計算第 i 粒子及第 j 粒子的距離 $D(i,j)$ 。(B)判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是否相同，若是，進入步驟(C)，若否，進入步驟(G)。(C)判斷該距離 $D(i,j)$ 是否小於一第一作用距離，若是，(D)將該距離 $D(i,j)$ 代入一第一位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。(E)判斷更新後的距離 $D(i,j)$ 是否小於一第二作用距離，若是，(F)使該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼相等。(G)將步驟(A)中該距離 $D(i,j)$ 代入一第二位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。

A water painting simulation method performed by a processor comprising the steps of: (A) Computing the distance $D(i,j)$ of a i -th particle and a j -th particle. (B) Determining if the region ID of the i -th particle and the region ID of the j -th particle are the same, if yes, entering step (C), and if not, entering step (G). (C) Determining if the distance $D(i,j)$ is smaller than a first distance of action, and if yes, (D) substituting the distance $D(i,j)$ into a first displacement calculation formula, and updating the location of the i -th particle and the location of the j -th particle according to the calculation result. (E) Determining if the updated distance $D(i,j)$ is smaller than a second distance of action, and if yes, (F) equalizing the region ID of the i -th particle and the region ID of the j -th particle. (G) Substituting the distance $D(i,j)$ in step (A) into a second displacement calculation formula, and updating the location of the i -th particle and the location of the j -th particle according to the calculation result.

指定代表圖：

符號簡單說明：
S1~S8 . . . 步驟

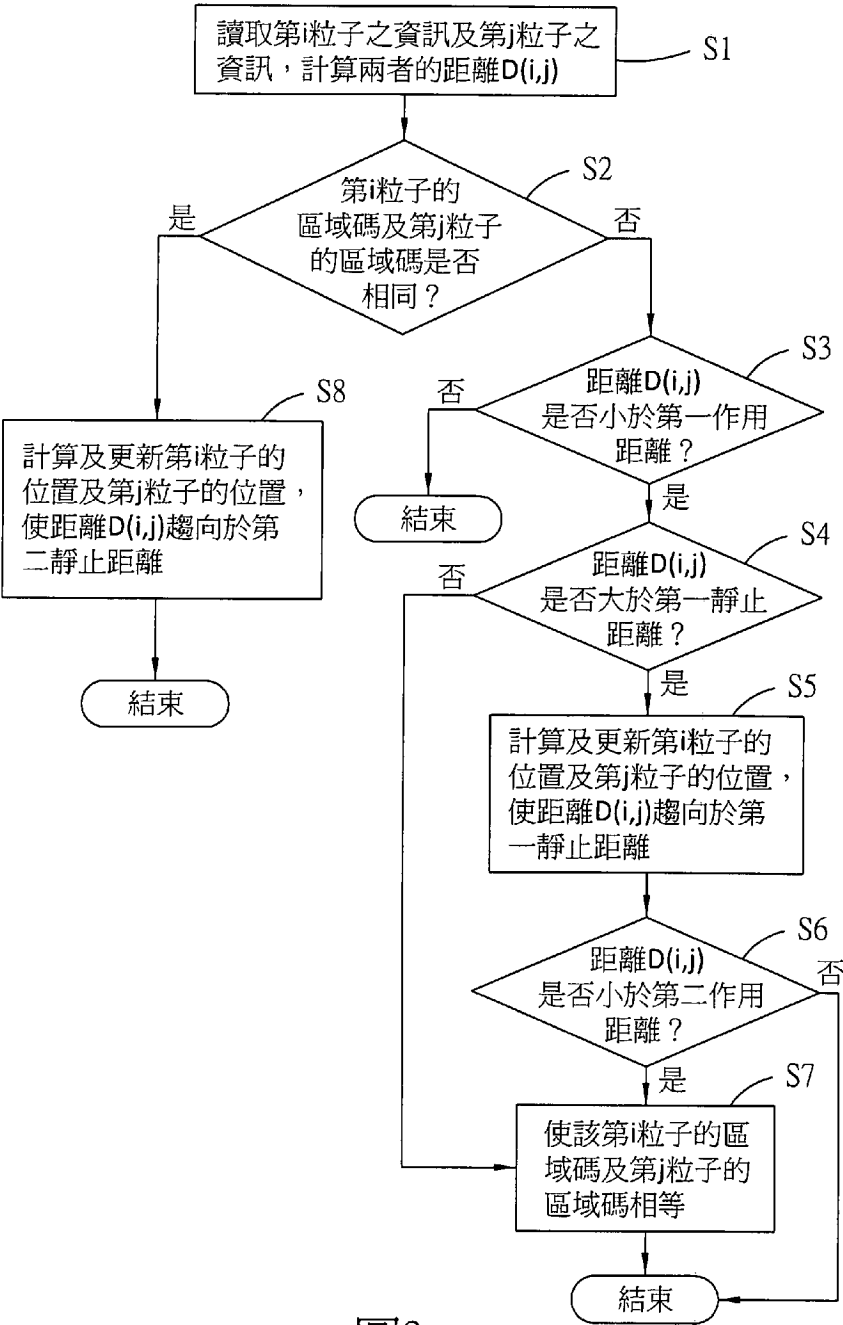


圖3

發明摘要

※ 申請案號： 103128118

G06T 11/00

(2006.01)

※ 申請日： 103. 8. 1 5

※IPC 分類： G06T 7/00

(2006.01)

【發明名稱】 水畫模擬方法及電腦程式產品

Water painting simulation method and computer
program product

【中文】

一種水畫模擬方法，由一處理器執行，包含以下步驟：

(A)計算第 i 粒子及第 j 粒子的距離 $D(i,j)$ 。(B)判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是否相同，若是，進入步驟(C)，若否，進入步驟(G)。(C)判斷該距離 $D(i,j)$ 是否小於一第一作用距離，若是，(D)將該距離 $D(i,j)$ 代入一第一位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。(E)判斷更新後的距離 $D(i,j)$ 是否小於一第二作用距離，若是，(F)使該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼相等。(G)將步驟(A)中該距離 $D(i,j)$ 代入一第二位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。

【英文】

A water painting simulation method performed by a processor comprising the steps of: (A) Computing the distance $D(i,j)$ of a i -th particle and a j -th particle. (B) Determining if the region ID of the i -th particle and the

region ID of the j-th particle are the same, if yes, entering step (C), and if not, entering step (G). (C) Determining if the distance $D(i,j)$ is smaller than a first distance of action, and if yes, (D) substituting the distance $D(i,j)$ into a first displacement calculation formula, and updating the location of the i-th particle and the location of the j-th particle according to the calculation result. (E) Determining if the updated distance $D(i,j)$ is smaller than a second distance of action, and if yes, (F) equalizing the region ID of the i-th particle and the region ID of the j-th particle. (G) Substituting the distance $D(i,j)$ in step (A) into a second displacement calculation formula, and updating the location of the i-th particle and the location of the j-th particle according to the calculation result.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖（ 3 ）。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S 1 ~ S 8 …… 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】：

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】 水畫模擬方法及電腦程式產品

Water painting simulation method and computer
program product

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種水畫模擬方法，特別是指一種電腦圖學領域的水畫模擬方法及電腦程式產品。

【先前技術】

【0002】 水畫／水藝術是利用水進行的藝術創作，例如利用水滴在不吸水的平面上繪製圖案，如圖 1 所示（參閱 <http://www.muslimah.net/t44819/>，最後瀏覽日 2014 年 3 月 28 日）是一種實體水畫作品之照片。然而，若先完成實體水畫製作後，再利用照片捕捉、記錄其圖案，日後將無法繼續對已完成的水畫進行編輯（至多僅能以一般影像處理的方式進行修圖等動作）。因此，如何開發一種可供電腦圖學領域使用的水畫模擬方法，就成為一值得研究的主題。

【發明內容】

【0003】 因此，本發明之其中一目的，即在提供一種可供編輯的水畫模擬方法。

【0004】 因此，本發明之其中另一目的，即在提供一種前述水畫模擬方法的電腦程式產品。

【0005】 於是，本發明水畫模擬方法在一些實施態樣中，是由一處理器執行，包含以下步驟：

【0006】 (A)讀取一第 i 粒子之資訊及一第 j 粒子之資訊，每一粒子之資訊包含一區域碼及一位置，並根據該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置計算兩者的距離 $D(i,j)$ 。

【0007】 (B)判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是否相同，若是，進入步驟 (C)，若否，進入步驟 (G)。

【0008】 (C)判斷該距離 $D(i,j)$ 是否小於一第一作用距離，若是，進入步驟 (D)。

【0009】 (D)將該距離 $D(i,j)$ 代入一第一位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。

【0010】 (E)根據於步驟 (D) 中更新後的該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置重新計算兩者之更新後的距離 $D(i,j)$ ，並判斷更新後的距離 $D(i,j)$ 是否小於一第二作用距離，若是，進入步驟 (F)，其中，該第二作用距離小於該第一作用距離。

【0011】 (F)使該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼相等。

【0012】 (G)將步驟 (A) 中該距離 $D(i,j)$ 代入一第二位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。

【0013】 在一些實施態樣中，該第一位移計算公式是使

該距離 $D(i,j)$ 趨向於一第一靜止距離，該第二位移計算公式是該距離 $D(i,j)$ 趨向於一第二靜止距離，其中，該第一靜止距離小於該第二作用距離，該第二靜止距離小於該第一靜止距離。

【0014】 在一些實施態樣中，該等位移計算公式是根據線性彈簧模型計算兩粒子間的受力，並以兩粒子具相等質量為基礎，再根據該受力計算一間隔時間內兩粒子的位移，該第一位移計算公式是根據靜止長度為第一靜止距離之線性彈簧的模型來計算，該第二位移計算公式是根據靜止長度為第二靜止距離之線性彈簧的模型來計算。

【0015】 在一些實施態樣中，包含每間隔該間隔時間對多個粒子中的每對粒子對執行的所述步驟（A）至（G）而更新該等粒子的位置，其中，各該對粒子對包含所述第 i 粒子及所述第 j 粒子。

【0016】 在一些實施態樣中，每間隔該間隔時間還對該等粒子中的每一第 i 粒子執行以下步驟：

【0017】 （H）讀取該第 i 粒子之資訊及一筆刷之資訊，該粒子之資訊包含該位置及一粒子半徑，該筆刷之資訊包含一位置及一筆刷半徑，並根據該第 i 粒子的位置及筆刷的位置計算兩者的距離 $D(i,brush)$ ；

【0018】 （I）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於一第三作用距離，若否，進入步驟（J）；及

【0019】 （J）將該距離 $D(i,brush)$ 代入一第三位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置。

【0020】 在一些實施態樣中，該第三位移計算公式是使該距離 $D(i,brush)$ 趨向於一第三靜止距離。

【0021】 在一些實施態樣中，該第三位移計算公式是根據靜止長度為第三靜止距離之線性彈簧的模型計算該第 i 粒子與該筆刷間的受力，並以該筆刷不會因該受力而位移為基礎，再根據該受力計算該間隔時間內該第 i 粒子的位移。

【0022】 在一些實施態樣中，還包含步驟（I）判斷為是後執行的以下步驟：

【0023】 （K）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否小於該第三靜止距離，若否，進入步驟（L）；及

【0024】 （L）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於該第三靜止距離，若是，進入步驟（J）。

【0025】 在一些實施態樣中，當步驟（K）判斷為是，進入步驟（M）：將第 i 粒子的位置移動至筆刷邊緣，而使距離 $D(i,brush)$ 等於第三靜止距離。

【0026】 在一些實施態樣中，該第三靜止距離等於該筆刷半徑。

【0027】 在一些實施態樣中，該第三作用距離等於該粒子半徑及該筆刷半徑之和。

【0028】 於是，本發明電腦程式產品在一些實施態樣中，是執行如所述之水畫模擬方法。

【0029】 本發明之功效在於：由於粒子的位置均是由計算得出，因此製作的水畫日後能被編輯，且透過對區域碼

相同及不同的粒子，分別使用兩位移計算公式進行計算，而能模擬出「位在區域邊緣的水分子作用範圍大、吸引力小，而位在區域內部的水分子作用範圍小、吸引力大」的情況，使得水畫更爲接近現實情況。

【圖式簡單說明】

【0030】 本發明之其他的特徵及功效，將於參照圖式的實施例詳細說明中清楚地呈現，其中：

圖 1 是一示意圖，說明先前技術；

圖 2 是一方塊圖，說明本發明水畫模擬方法的一實施例；

圖 3 是一流程圖，說明該實施例的步驟 S1 至 S8；及

圖 4 是一流程圖，說明該實施例的步驟 S9 至 S14。

【實施方式】

【0031】 參閱圖 2 至圖 4，本發明水畫模擬方法之實施例由一電子裝置 1 的一處理單元 11 執行，該電子裝置 1 包含一儲存媒體 12、一輸入介面 13、一顯示單元 14 及與前述元件連接的該處理單元 11，該電子裝置 1 例如是桌上型電腦、可攜式電腦、智慧型行動電話或者平版電腦等等，該輸入介面 13 例如是滑鼠或是觸控面板等可控制後述之「筆刷」之輸入介面 13。

【0032】 該處理單元 11 接收一包含多個粒子的位置資訊，該等粒子是用以模擬水滴而分布於一平面的各個位置。該等粒子放置於各個位置的方式，可以由輪廓照片轉換



而成，也就是說，在輪廓照片的輪廓上每間隔固定距離放置一粒子，再執行本發明水畫模擬方法之實施例。所謂輪廓照片，指的是僅包含物件輪廓的照片，不含顏色資訊，亦不含灰階資訊，以利前述粒子之放置。另一種方式，是由使用者經該輸入介面 13 控制筆刷而放置的粒子。

【0033】 該方法包含該處理單元 11 每間隔一間隔時間，例如 0.1 秒，對該等多個粒子中的每對粒子對執行以下步驟，其中各該對粒子對包含第 i 粒子及第 j 粒子，而在本實施例中遍歷每一粒子對的方式是，當 $i=1$ 時， $j=2\sim n$ ，其中 n 為粒子總數，當 $i=2$ 時， $j=3\sim n$ ，以此類推直至 $i=n-1$ ， $j=n$ 。在以下的步驟中，步驟 S1 至 S8 為粒子間的模擬計算，以上述方式進行遍歷。S9 至 S14 為粒子與筆刷間的模擬計算，當結束步驟 S1 至 S8 之粒子間的模擬計算後，再進入步驟 S9 至 S14 對每一第 i 粒子進行模擬計算。

【0034】 步驟 S1—讀取第 i 粒子之資訊及第 j 粒子之資訊，每一粒子之資訊包含一區域碼及一位置，並根據該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置計算兩者的距離 $D(i,j)$ 。

【0035】 需說明的是，在初始狀態下每一粒子都具有不同的區域碼 (region ID)，意謂兩粒子位在不同的水區域 (water region)。該距離 $D(i,j)$ 在本實施例中是將第 i 粒子的位置的座標及第 j 粒子的位置的座標代入平面座標系之距離公式來計算。以下進入步驟 S2。

【0036】 步驟 S2—判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是否相同，若是，進入步驟 S8，若否，進入步驟

S3。

【0037】 步驟 S3—判斷該距離 $D(i,j)$ 是否小於一第一作用距離，若是，進入步驟 S4，若否，意謂兩粒子距離過遠，故結束第 i 粒子及第 j 粒子間的模擬計算。

【0038】 步驟 S4—判斷距離 $D(i,j)$ 是否大於第一靜止距離，若是，進入步驟 S5，若否，進入步驟 S7。

【0039】 步驟 S5—計算及更新第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置，使距離 $D(i,j)$ 趨向於第一靜止距離。

【0040】 本步驟是將該距離 $D(i,j)$ 代入第一位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。第一位移計算公式的計算方式容後說明。以下進入步驟 S6。

【0041】 步驟 S6—判斷距離 $D(i,j)$ 是否小於一第二作用距離，若是，進入步驟 S7，若否，意謂兩粒子位在不同的水區域，跳過步驟 S7 並結束第 i 粒子及第 j 粒子間的模擬計算。

【0042】 步驟 S7—使該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼相等，結束第 i 粒子及第 j 粒子間的模擬計算。

【0043】 步驟 S8—計算及更新第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置，使距離 $D(i,j)$ 趨向於第二靜止距離。本步驟是將該距離 $D(i,j)$ 代入第二位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置，結束第 i 粒子及第 j 粒子間的模擬計算。

【0044】 補充說明的是，上述各距離的關係為：第一作



用距離 > 第二作用距離 > 第一靜止距離 > 第二靜止距離，其中「>」表示「大於」。

【0045】 在以上的步驟 S3 至 S7 中，又可區分為兩個部分，即是使距離 $D(i,j)$ 趨向於第一靜止距離的步驟 S3~S7，以及使距離 $D(i,j)$ 趨向於第二靜止距離的步驟 S8，且在步驟 S5 計算出距離 $D(i,j)$ 小於第二作用距離後，會將其區域碼設定為相同，因此當再次過了該間隔時間而於下次計算時，在步驟 S2 中便會判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是為相同，而進入步驟 S8。

【0046】 本實施例使用兩種位移計算公式，其根據如下。一個具有多個水分子的水區域，其水分子可區分為位在區域邊緣者與位在區域內部者。首先，位在區域邊緣的水分子更容易吸引其他區域的水分子，因此在本實施例中是設定使第一作用距離大於第二作用距離。其次，位在區域內部的水分子受到的內聚力通常大於位在邊界者，因此在本實施例中是設定使第一靜止距離大於第二靜止距離。

【0047】 大體而言，在本實施例中當兩粒子的區域碼不同，會使用第一位移計算公式，當兩粒子區域碼相同，會使用第二位移計算公式，第一位移計算公式可產生作用的範圍大於第二位移計算公式產生作用的範圍，因此前述之第一作用距離大於第二作用距離，但第一位移計算公式可產生的吸引力小於第二位移計算公式產生的吸引力，因此前述之第一靜止距離亦大於第二靜止距離。此外，第一靜止距離須小於第二作用距離，如此兩粒子的距離 $D(i,j)$ 才有

可能由大於第二作用距離的情況變化為小於第二作用距離的情況。

【0048】 該等位移計算公式是根據線性彈簧模型計算兩粒子間的受力，並以兩粒子具相等質量為基礎，再根據該受力計算該間隔時間內兩粒子的位移，該第一位移計算公式是根據靜止長度為第一靜止距離之線性彈簧的模型來計算，該第二位移計算公式是根據靜止長度為第二靜止距離之線性彈簧的模型來計算。所述線性彈簧模型是假設粒子對(i,j)間以一彈簧 s_{ij} 連接，該彈簧 s_{ij} 具有靜止長度 L_{ij}^0 以及剛度 k_{ij} ，且第 i 粒子的受力為 F_{ij} ，第 j 粒子的受力為 F_{ji} ，受力可以如下表示：

$$\text{【0049】 } F_{ij} = -k_{ij}(\|p_i - p_j\| - L_{ij}^0) \frac{p_i - p_j}{\|p_i - p_j\|} \quad \text{且} \quad F_{ji} = -F_{ij}$$

【0050】 其中， p_i 及 p_j 分別是第 i 粒子及第 j 粒子的位置。有了上述受力之公式後，便可根據受力並以兩粒子具相等質量為基礎計算粒子的位移，而更新粒子的位置。

【0051】 此外，在本實施例中，步驟 S7 使兩粒子區域碼相等的方式為，當與第 i 粒子具有相同區域碼的粒子數量大於與第 j 粒子具有相同區域碼的粒子數量，則修改第 j 粒子的區域碼成為第 i 粒子的區域碼，否則修改第 i 粒子的區域碼成為第 j 粒子的區域碼。但不以此為限，只要能使兩粒子區域碼相等即可。

【0052】 以下說明步驟 S9 至 S14 的粒子與筆刷間的模擬計算。在本實施例中，筆刷是可供使用者控制以調整水畫形狀之工具，筆刷可以釋放粒子而能作畫，也能不釋放粒



子單純改變現有之粒子。筆刷具有一筆刷半徑，在以下的計算中，將會使原來在筆刷半徑範圍內的粒子移動到筆刷的半徑上，在筆刷半徑範圍外的粒子則以類似前述的位移計算公式進行計算。

【0053】 步驟 S9—讀取第 i 粒子之資訊及筆刷之資訊，該粒子之資訊包含該位置及一粒子半徑，該筆刷之資訊包含一位置及該筆刷半徑，並根據該第 i 粒子的位置及筆刷的位置計算兩者的距離 $D(i,brush)$ 。進入步驟 S10。

【0054】 步驟 S10—判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於一第三作用距離，若是，意謂第 i 粒子及筆刷間的距離過遠，故結束第 i 粒子及筆刷間的模擬計算，若否，進入步驟 S11。在本實施例中，該第三作用距離是設定為粒子半徑及筆刷半徑之和。

【0055】 步驟 S11—判斷距離 $D(i,brush)$ 是否小於一第三靜止距離，若否，進入步驟 S12，若是，進入步驟 S14。在本步驟中，該第三靜止距離是設定為該筆刷半徑。

【0056】 步驟 S12—判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於第三靜止距離，若是，進入步驟 S14，若否，意謂距離 $D(i,brush)$ 已等於該第三靜止距離，故結束第 i 粒子及筆刷間的模擬計算。

【0057】 步驟 S13—計算及更新第 i 粒子的位置，使距離 $D(i,brush)$ 趨向於第三靜止距離。該第三位移計算公式是根據靜止長度為第三靜止距離之線性彈簧的模型計算該第 i 粒子與該筆刷間的受力，並以該筆刷不會因該受力而位移

為基礎，再根據該受力計算該間隔時間內該第 i 粒子的位移，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置，而結束第 i 粒子及筆刷間的模擬計算。其中線性彈簧的模型與前述相同，在此不再贅述。

【0058】 步驟 S14—將第 i 粒子直接移動至筆刷邊緣，而使距離 $D(i, \text{brush})$ 等於第三靜止距離。在本實施例，「移動」第 i 粒子的方式是沿著該筆刷的位置至該第 i 粒子的位置之方向朝外移動。至於與該筆刷位置相同的粒子則不限其移動之方向。結束第 i 粒子及筆刷間的模擬計算。

【0059】 當筆刷在帶動粒子時，有可能會將粒子由本來的區域中分離出來，由於在本實施例中使用了兩種模擬粒子間受力的計算方式，使得位於區域邊緣的粒子較易被帶動，位於區域內部的粒子則較不容易被帶動，模擬的效果較佳。

【0060】 補充說明的是，當粒子由本來的區域中分離出來時，因為該粒子不再屬於同一區域，其區域碼會需要變成與其本來所在區域的區域碼不同。因此在本實施例中，每間隔該間隔時間完成前述步驟 S1 至 S14 的計算後，若一區域中有至少部分粒子已有位移，還會更新該區域之粒子的區域碼。這部分僅是更新區域碼而不涉及計算受力亦不更新位置。在本實施例中更新區域碼的方式為，首先給定該區域的所有粒子一個新的且彼此不同的區域碼，然後對該區域的所有粒子的每對粒子對僅執行步驟 S6 至 S7，如此最終被分離的粒子的區域碼即會與其本來所在區域的區域



碼不同。但不以上述為限，只要能使區域碼能反應區域的變化情況即可。

【0061】綜上所述，由於粒子的位置均是由計算得出，因此製作的水畫日後能被編輯，且透過對區域碼相同及不同的粒子，分別使用兩位移計算公式進行計算，而能模擬出「位在區域邊緣的水分子作用範圍大、吸引力小，而位在區域內部的水分子作用範圍小、吸引力大」的情況，使得水畫更為接近現實情況，此外，在使用筆刷調整時，能較容易帶動區域邊緣的粒子，但較不易帶動區域內部的粒子，亦接近現實情況，故確實能達成本發明之目的。

【0062】惟以上所述者，僅為本發明之實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，即大凡依本發明申請專利範圍及專利說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【符號說明】

【0063】

1 …… 電 子 裝 置	13 …… 輸 入 介 面
11 …… 處 理 單 元	14 …… 顯 示 單 元
12 …… 儲 存 媒 體	S1~S14 …… 步 驟

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依：寄存機構、日期、號碼順序註記】

國外寄存資訊【請依：寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

【序列表】 (請換頁單獨記載)



申請專利範圍

1. 一種水畫模擬方法，由一處理單元執行，包含以下步驟：

(A) 讀取一第 i 粒子之資訊及一第 j 粒子之資訊，每一粒子之資訊包含一區域碼及一位置，並根據該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置計算兩者的距離 $D(i,j)$ ；

(B) 判斷該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼是否相同，若是，進入步驟 (C)，若否，進入步驟 (G)；

(C) 判斷該距離 $D(i,j)$ 是否小於一第一作用距離，若是，進入步驟 (D)；

(D) 將該距離 $D(i,j)$ 代入一第一位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置；

(E) 根據於步驟 (D) 中更新後的該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置重新計算兩者之更新後的距離 $D(i,j)$ ，並判斷更新後的距離 $D(i,j)$ 是否小於一第二作用距離，若是，進入步驟 (F)，其中，該第二作用距離小於該第一作用距離；

(F) 使該第 i 粒子的區域碼及第 j 粒子的區域碼相等；及

(G) 將步驟 (A) 中該距離 $D(i,j)$ 代入一第二位移計算公式，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置及第 j 粒子的位置。

2. 如請求項 1 所述水畫模擬方法，其中，該第一位移計算

公式是使該距離 $D(i,j)$ 趨向於一第一靜止距離，該第二位移計算公式是該距離 $D(i,j)$ 趨向於一第二靜止距離，其中，該第一靜止距離小於該第二作用距離，該第二靜止距離小於該第一靜止距離。

3. 如請求項 2 所述水畫模擬方法，其中，該等位移計算公式是根據線性彈簧模型計算兩粒子間的受力，並以兩粒子具相等質量為基礎，再根據該受力計算一間隔時間內兩粒子的位移，該第一位移計算公式是根據靜止長度為第一靜止距離之線性彈簧的模型來計算，該第二位移計算公式是根據靜止長度為第二靜止距離之線性彈簧的模型來計算。
4. 如請求項 3 所述水畫模擬方法，包含每間隔該間隔時間對多個粒子中的每對粒子對執行的所述步驟（A）至（G）而更新該等粒子的位置，其中，各該對粒子對包含所述第 i 粒子及所述第 j 粒子。
5. 如請求項 4 所述水畫模擬方法，其中，每間隔該間隔時間還對該等粒子中的每一第 i 粒子執行以下步驟：

（H）讀取該第 i 粒子之資訊及一筆刷之資訊，該粒子之資訊包含該位置及一粒子半徑，該筆刷之資訊包含一位置及一筆刷半徑，並根據該第 i 粒子的位置及筆刷的位置計算兩者的距離 $D(i,brush)$ ；

（I）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於一第三作用距離，若否，進入步驟（J）；及

（J）將該距離 $D(i,brush)$ 代入一第三位移計算公式



，並根據計算結果更新該第 i 粒子的位置。

6. 如請求項 5 所述水畫模擬方法，其中，該第三位移計算公式是使該距離 $D(i,brush)$ 趨向於一第三靜止距離。
7. 如請求項 6 所述水畫模擬方法，其中，該第三位移計算公式是根據靜止長度為第三靜止距離之線性彈簧的模型計算該第 i 粒子與該筆刷間的受力，並以該筆刷不會因該受力而位移為基礎，再根據該受力計算該間隔時間內該第 i 粒子的位移。
8. 如請求項 7 所述水畫模擬方法，其中，還包含步驟（ I ）判斷為是後執行的以下步驟：
 - （ K ）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否小於該第三靜止距離，若否，進入步驟（ L ）；及
 - （ L ）判斷距離 $D(i,brush)$ 是否大於該第三靜止距離，若是，進入步驟（ J ）。
9. 如請求項 8 所述水畫模擬方法，其中，當步驟（ K ）判斷為是，進入步驟（ M ）：將第 i 粒子的位置移動至筆刷邊緣，而使距離 $D(i,brush)$ 等於第三靜止距離。
10. 如請求項 5 所述水畫模擬方法，其中，該第三靜止距離等於該筆刷半徑。
11. 如請求項 4 所述水畫模擬方法，其中，該第三作用距離等於該粒子半徑及該筆刷半徑之和。
12. 一種電腦程式產品，執行如請求項 1 至 11 中任一請求項所述之水畫模擬方法。

圖式

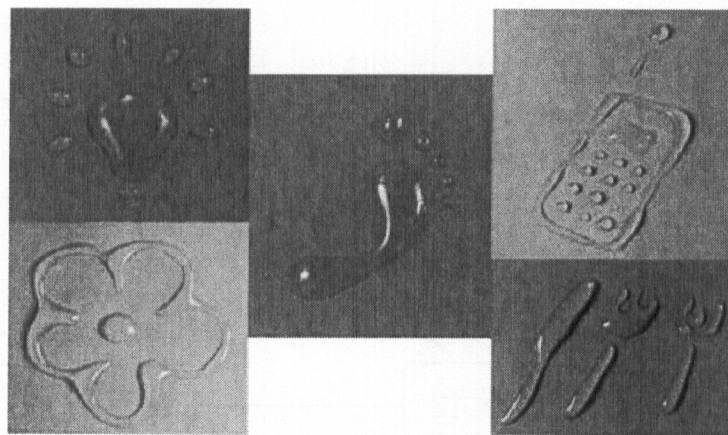


圖 1

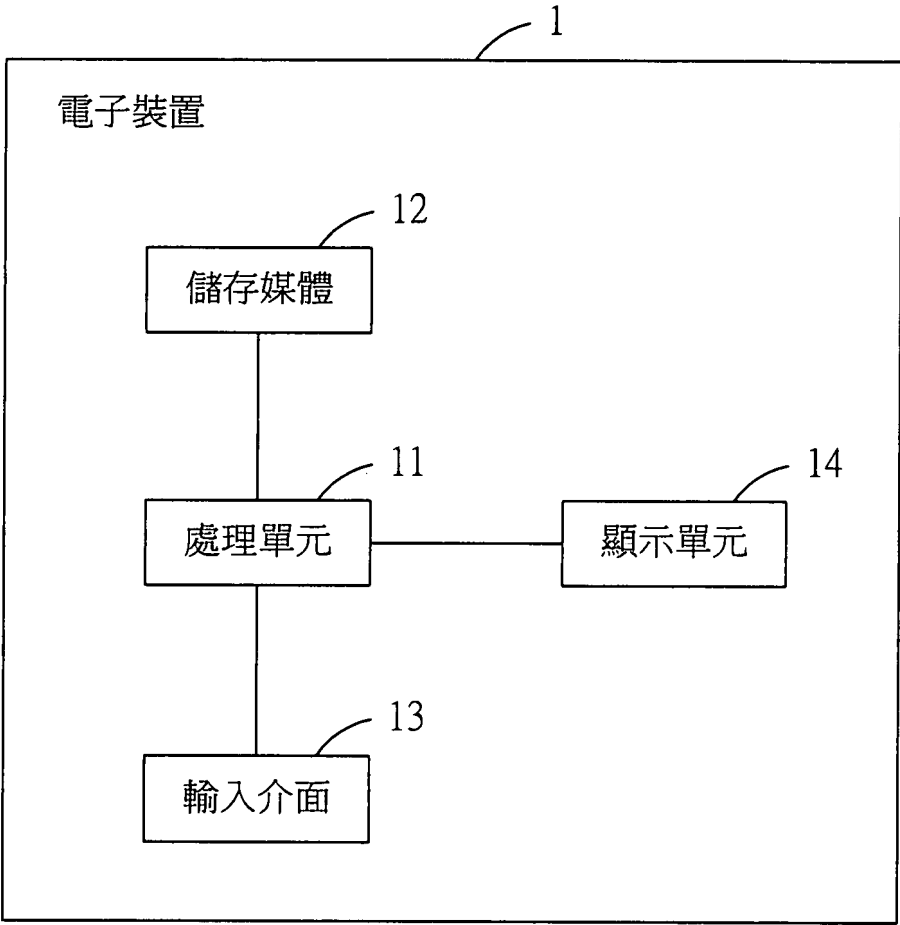


圖2



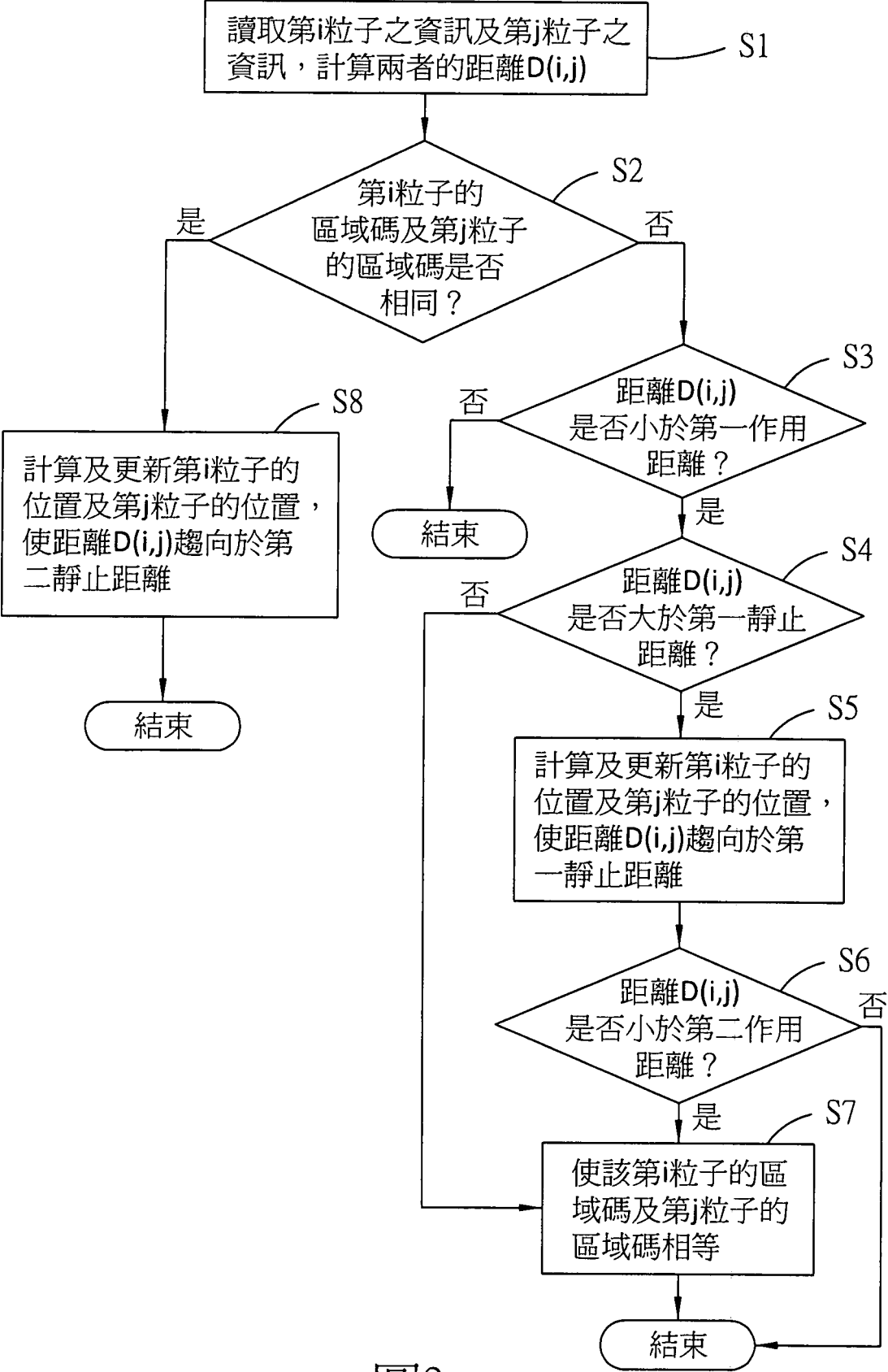


圖3

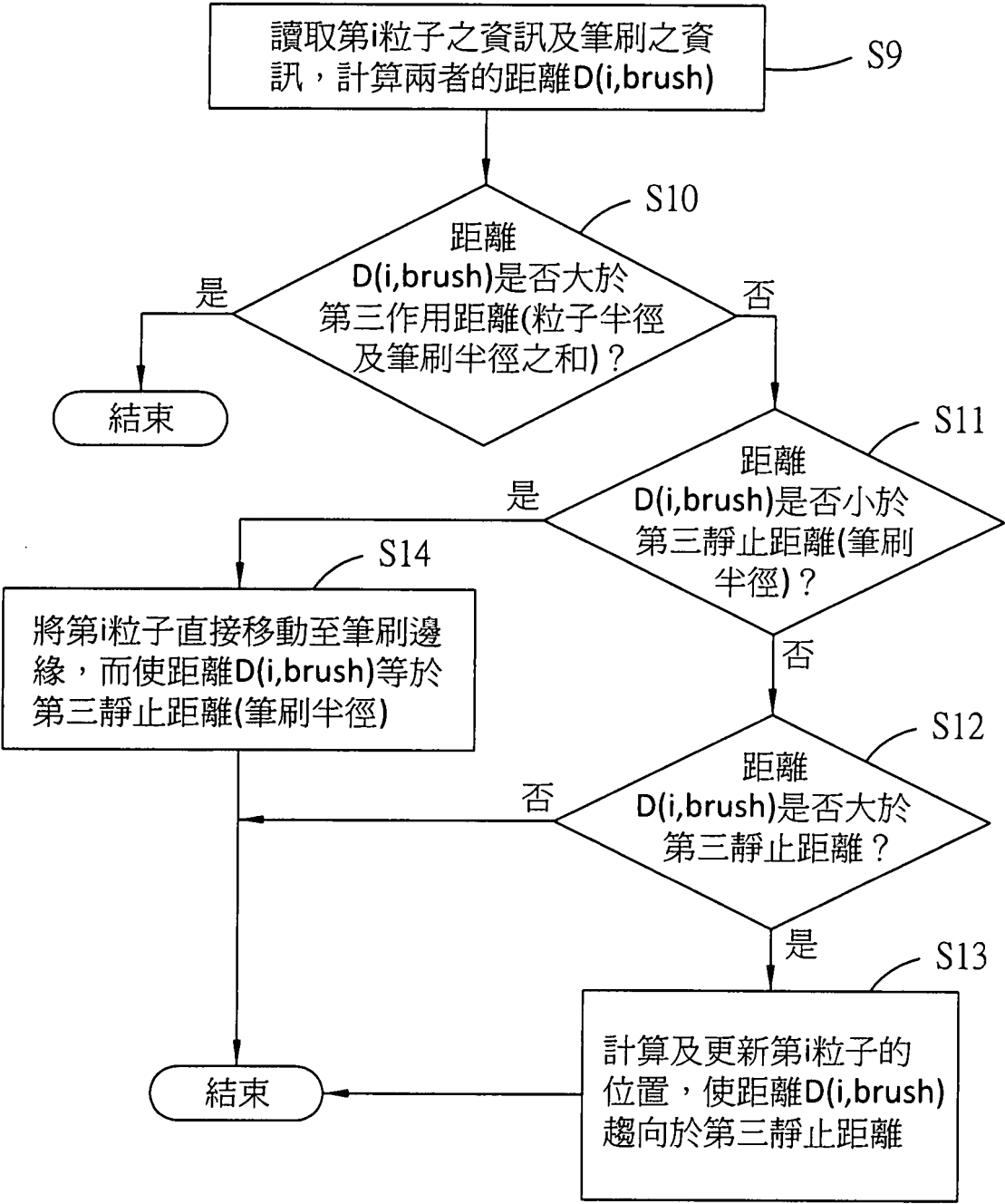


圖4

