

公告本

96.5.22

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：96110555

※申請日期：96.3.27

※IPC 分類：H03M 13/11 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

應用於低密度奇偶校驗 (LDPC) 解碼器之集合迴旋比較方法

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

代表人：(中文/英文) 吳重雨

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號

國 籍：(中文/英文) 中華民國 TW

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

洪瑞徽

洪瑞鴻

陳紹基

國 籍：(中文/英文)

中華民國 TW (均同)

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項第一款或第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明係揭露一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之集合迴旋比較方法，其係應用在一查核節點單元（CNU）或變量節點單元（VNU）中。此種有系統化之方法係先對輸入之所有元素進行初始化以取得一個矩陣；再利用矩陣之對稱性與每列之近似性的特性，依序對所有元素之水平與垂直方向重覆數量最多、水平方向為連續元素者、非連續元素但為對稱之非邊界元素，以及邊界元素與其同列之端迴相鄰元素等原則形成不同類型之集合，以利用每個比較集合之間的高度重疊性，來有效降低基本比較運算量，並適用各種輸入數目，進而提高整體低密度奇偶校驗解碼器之效能。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(三)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種應用於通道編碼中之解碼器演算法，特別是關於一種應用於低密度奇偶校驗（Low density parity check，LDPC）解碼器之集合迴旋比較方法。

【先前技術】

錯誤更正碼（Error control coding）係有別於一般的資料壓縮編碼（Source coding），資料在傳輸過程中可能因為傳輸媒介的可靠度不佳，或外在因素的干擾而遭到破壞，錯誤更正碼的作用即是盡可能還原這些遭受破壞的資料。低密度奇偶校驗碼（Low density parity check code，簡稱 LDPC 碼）是一種錯誤更正碼，其係為一種前瞻之編碼技術，具有極大的應用價值，故未來發展性相當廣。

在 LDPC 解碼器中，通常採用和積演算法（Sum-product algorithm）和最小值-總和演算法（Min-sum algorithm）作為 LDPC 碼的解碼演算法，和積演算法雖可減少運算複雜度，但卻會佔用較多的硬體空間，故為了減少解碼器硬體之複雜度，即可利用最小值-總和演算法來作為 LDPC 解碼器之演算法。

LDPC 解碼器之解碼流程如第一圖所示，先如步驟 S10 所示對解碼器進行初始化步驟之後，再進行步驟 S12 與 S14 之更新，依序對查核節點進行更新以及對位元節點進行更新；完成更新後，進行步驟 S16，判斷資料串列中重疊數目是否有超過預定最大重疊數目，或是當解碼後之位元滿足查核矩陣 $Hx^T=0$ （check matrix）的限制，若是，即如步驟 S18 結束整個流程，

並輸出已解碼位元，若否，則回到步驟 S12 重複進行上述步驟，直至結束為止。

上述之查核節點與位元節點係分別利用查核節點單元 (Check Node Unit, CNU) 與位元節點單元 (Bit Node Unit, CNU) 進行更新，所以對整個解碼器之效能影響相當大。而在前述已知的解碼技術中，只針對特定的輸入數目做最佳化，並無系統性且適用於所有輸入數目之查核節點單元架構；再者，輸入數目愈大，比較次數亦愈多，則比較器之需求數量亦相對增加，導致查核節點單元之運算速度減慢，進而降低了整個解碼器之效能。

有鑑於此，本發明遂提出一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之集合迴旋比較方法，以改善前述該等缺失。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之集合迴旋比較方法，其為一有系統化的演算法，係利用每個比較集合之間的高度重疊性，來有效降低基本比較運算量，進而提高整體解碼器之效能。

本發明之另一目的係在提供一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之集合迴旋比較方法，其係適用於所有輸入數目之演算法，並在保持比較運算的最短關鍵路徑 (critical path) 條件下，使查核節點單元或變量節點單元係具有最快的運算速度，並可有效減少比較器數目。

根據上述目的，本發明之集合迴旋比較方法包含：將具有 N_{input} 個元素輸入之一查核節點單元 (CNU) 或變量節點單元 (VNU) 中之該等元素進行初始化，依序去除第 1 位置至第 N_{input} 位置之元素，以取得 N_{input} 條包含 $N_{input}-1$ 個該元素之串列，以組成一矩陣；接著，在此矩陣中之上半區域搜尋水平

與垂直方向重覆數量 $N_{\text{iteration}}$ 最多的元素，以形成第一型集合 (H-V 集合)，並對稱的自此矩陣下半區域自動形成對應之第一型集合；再依序以 $N_{\text{iteration}2}=N_{\text{iteration}1}-1$ 方式更新第一型集合尺寸，重複搜尋找出所有第一型集合，並判斷該重覆數量 $N_{\text{iteration}2}$ 是否為 0，若否係回到搜尋第一型集合之步驟中，若是則進行下一步驟；在剩餘未形成集合之剩餘元素中，在水平方向為連續元素者即形成第二型集合 (H 集合)，且非連續元素中搜尋互為對稱之非邊界元素，使其與最接近之相鄰元素結合成額外的第二型集合；再將剩餘之邊界元素依序以 $N_{\text{row}2}=N_{\text{row}1}+1$ 方式，搜尋與其同列之端迴 (end-around) 相鄰元素結合成第三型集合 (H-C 集合)；最後再判斷 $N_{\text{row}2}$ 之值是否等於串列數 N_{input} 值，若否係重複進行搜尋第二型集合之步驟，若是則結束整個流程。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

本發明係提供一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之迴旋集合比較方法，其係在保持比較運算之最短關鍵路徑 (critical path) 條件下，利用每個比較集合之間的高度重疊性，來有效降低基本比較運算的次數，且任何輸入數目皆可利用本發明快速運算出結果。

本發明之迴旋集合比較方法，其係應用低密度奇偶校驗碼解碼器中，此低密度奇偶校驗碼解碼器之架構係如第二圖所示，其係由一 Q 矩陣產生單元、一查核節點單元 (Check node unit, CNU)、一位元節點單元 (Bit node unit, BNU) 以及一輸出單元所組成，其中，本發明所揭示之迴旋集合比較

方法係主要應用於該查核節點單元中。此外，本發明之方法亦可應用於具有相同特性之一變量節點單元 (Variable node unit, VNU) 中。

本發明之集合迴旋比較方法之詳細步驟流程圖係如第三圖所示，其係可應用於具有 N_{input} 個元素輸入數量之查核節點單元或變量節點單元中，並利用矩陣之對稱性與每列之近似性的特性，該方法包括下列步驟：

首先，如步驟 S20 所示，將輸入之所有元素初始化，依序去除第 1 位置至第 N_{input} 位置之元素，以取得 N_{input} 條包含 $N_{input}-1$ 個該元素之串列，該等串列係構成一矩陣 M ；並設定重覆數量變數 $N_{iteration}$ 與列計算變數 N_{row} 之初始值係分別為 1 和 $\lceil \log_2(N_{input}-1) \rceil - 1$ ，此時 $N_{iteration}$ 係不為 0。

其次，在矩陣 M 中之上半區域 U 搜尋水平與垂直方向重覆數量 $N_{iteration}$ 最多的元素，如步驟 S22 所示，以找出具有 $2^{N_{iteration}}$ 元素之最大第一型集合，即 H-V 集合，並利用對稱特性，自矩陣 M 之下半區域 L 自動形成對應之 H-V 集合。於步驟 S24 依序以 $N_{iteration2}=N_{iteration1}-1$ 方式更新 H-V 集合尺寸，重複搜尋找出 H-V 集合；再如步驟 S26 所示，判斷此重覆數量 $N_{iteration}$ 是否為 0，若否係回到步驟 S22 重複進行之，若是為 0，則進行下一步驟 S28。

接著，如步驟 S28 所示般，在剩餘未形成集合之剩餘元素中，找出在水平方向為連續元素者即形成第二型集合，即 H 集合，也就是在矩陣 M 的第 N_{row} 列形成 H 集合；且非連續元素中搜尋互為對稱之非邊界元素，使其與最接近之相鄰元素結合亦成為額外的 H 集合。

在 H 集合形成之後，如步驟 S30 所示，將剩餘之邊界元素依序以列計算變數 $N_{row2}=N_{row1}+1$ 方式，搜尋與其同列之端迴 (end-around) 相鄰元素結

合成第三型集合，即 H-C 集合，以包含在矩陣 M 之第 N_{row} 列的邊界剩餘元素，若無任何剩餘元素，即進行下一步驟。

在於步驟 S32 中，判斷該 N_{row2} 值是否等於串列數 N_{input} ，若否係重複進行步驟 S28，若是相等的，則如步驟 S34 般結束整個流程。

其中，上述之 H-V 集合（第一型集合）係包含有 2^k 元素，且 k 為一大於 0 之整數；H-C 集合（第三型集合）亦可包含有 2^k 元素。此外，H-V 集合（第一型集合）、H 集合（第二型集合）以及 H-C 集合（第三型集合）中之元素數量係可都為偶數。

在敘述完本發明之基本演算過程之後，底下係藉由第四圖與第五圖之具體範例再予以詳加說明之。

首先，說明 H-V 集合的形成，由於輸入矩陣的位置對稱性，使第 1 列至第 3 列的矩陣上半區域，從第 5 列到第 7 列之下半區域可以被類似的處理，只要中心對稱列（第 4 列）的比較作用自動完成，矩陣的上、下半區域即可完成。因此，本發明剛開始會先找出此矩陣 M 的交點集合，其係為在輸入矩陣的水平方向和垂直方向共有比較結果的最大數值，此外，為了減少比較器所需之數量，每一個交點集合將包含 2^k 元素，其中 k 為一大於 0 的整數，此種集合稱之為 H-V 集合。例如在第四圖中，虛線方框包圍元素 5、6、7 及 8 係成為初始最大 H-V 集合，相同地，由於上述之對稱性，對稱於第 5 列至第 8 列的虛線方框包圍元素 1、2、3 及 4 係為另一個相同尺寸的初始 H-V 集合。接著，找出較小且尺寸為 2^{k-1} 之 H-V 集合，其係包含剩餘元素；在第四圖中，第 1 列與第 2 列之集合 {3, 4}、第 3 列與第 4 列之集合

{1, 2}、第 5 列與第 6 列之集合 {7, 8}、第 7 列與第 8 列之集合 {5, 6} 包含這些剩餘之元素，如 Layer 1 所示。

在形成上述之 H-V 集合後，在垂直方向沒有可任何共有元素可以被組成 H-V 集合，且可以輕易顯示在每一列中至少都存在有二個剩餘元素；因此，本發明可以只在那些剩餘元素之水平（列）方向形成共有集合。如第四圖所示，每一列中有留下一個元素，例如第 1 列之元素 2，在此情況下，這些元素中之一可與最小的 H-V 集合結合而形成一個 H 集合，例如在第 1 列之 {2, 3, 4}；第五圖顯示每一列中有留下二個元素，其中元素 2 與 3、元素 1 與 3、元素 1 與 2 分別為第 1 列、第 2 列、第 3 列之剩餘元素，既然如此，假如剩餘元素係為連續者，其亦可形成一 H 集合，例如，{2, 3} 及 {1, 2} 分別為位於第 1 列與第 3 列的二個 H 集合。同樣地，由於對稱特性，第 7 列的 {5, 6} 與第 5 列的 {6, 7} 亦以相同方式形成二個 H 集合。

到目前為止，只有非連續性剩餘元素被留下，例如第 2 列的元素 1 與 3、第 6 列的元素 5 與 7，在該些元素中，元素 3 與 5 係為對稱性的非邊界元素，其係可與他們最接近的相鄰元素結合並形成二個額外的 H 集合。據此，第 2 列的元素 3 係結合元素 4，而第 6 列之元素 5 則結合元素 4。

最後，只有留下邊界剩餘元素，並有對稱元素 1（第 2 列的）和 7（第 6 列的），此即可定義一 H-C 集合，其係為循環的結合一邊界剩餘元素與其同列之端迴（end-around）相鄰元素，並作為一尺寸為 2^k 的集合。例如，第 2 列之元素 1 可以與端迴元素 5、6 與 7 結合而作為第 1 個 H-C 集合 {1, 7, 6, 5}，而元素 7 則與其端迴元素 1、2 與 3 結合成第 2 個 H-C 集合

{7, 1, 2, 3}。考慮只需要二個輸入比較器，即可以利用上述對稱特性，並藉由結合邊界剩餘元素來形成共有集合來達到所述目的。

據上，本發明係提供一種有系統化且適用於所有輸入數目的集合迴旋比較演算法，係利用每個比較集合之間的高度重疊性，來有效降低基本比較運算量，並在保持比較運算的最短關鍵路徑 (critical path) 條件下，使查核節點單元或變量節點單元係具有最快的運算速度，進而提高整體解碼器之效能。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第一圖為習知低密度奇偶校驗解碼器之流程圖。

第二圖為本發明應用之低密度奇偶校驗碼解碼器的架構示意圖。

第三圖為本發明之集合迴旋比較方法的流程圖。

第四圖為本發明應用於 8 個輸入數目之集合示意圖。

第五圖為本發明應用於 7 個輸入數目之集合示意圖。

【主要元件符號說明】

10 低密度奇偶校驗碼解碼裝置

102 Q 矩陣產生單元

104 查核節點單元

106 位元節點單元

108 輸出單元

十、申請專利範圍：

1、一種應用於低密度奇偶校驗解碼器之集合迴旋比較方法，其係應用於具有 N_{input} 個元素輸入之一節點單元中，該方法包括下列步驟：

(a)將輸入之該等元素初始化，依序去除第 1 位置至第 N_{input} 位置之元素，以取得 N_{input} 條包含 $N_{input}-1$ 個該元素之串列，以形成一矩陣；

(b)在該矩陣中之上半區域搜尋水平與垂直方向重覆數量 $N_{iteration}$ 最多的元素，以形成第一型集合，並對稱的自該矩陣下半區域自動形成對應之第一型集合；

(c)依序以 $N_{iteration2}=N_{iteration1}-1$ 方式更新第一型集合尺寸，重複搜尋找出第一型集合，再判斷該重覆數量是否為 0，若否係回到步驟(b)，若是則進行下一步驟(d)；

(d)在剩餘未形成集合之剩餘元素中，在水平方向為連續元素者即形成第二型集合，非連續元素中搜尋互為對稱之非邊界元素，使其與最接近之相鄰元素結合成額外的第二型集合；

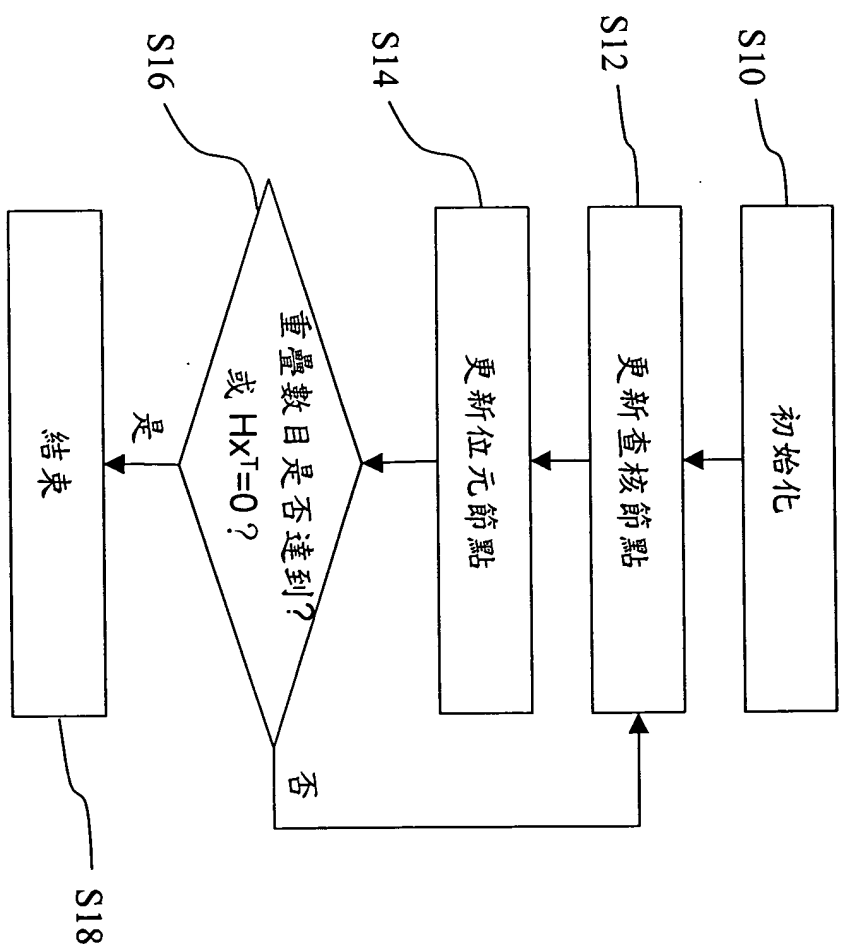
(e)剩餘之邊界元素依序以列計算變數 $N_{row2}=N_{row1}+1$ 方式，搜尋與其同列之端迴 (end-around) 相鄰元素結合成第三型集合；以及

(f)判斷該 N_{row2} 是否等於串列數 N_{input} ，若否係回到步驟(d)，若是則結束整個流程。

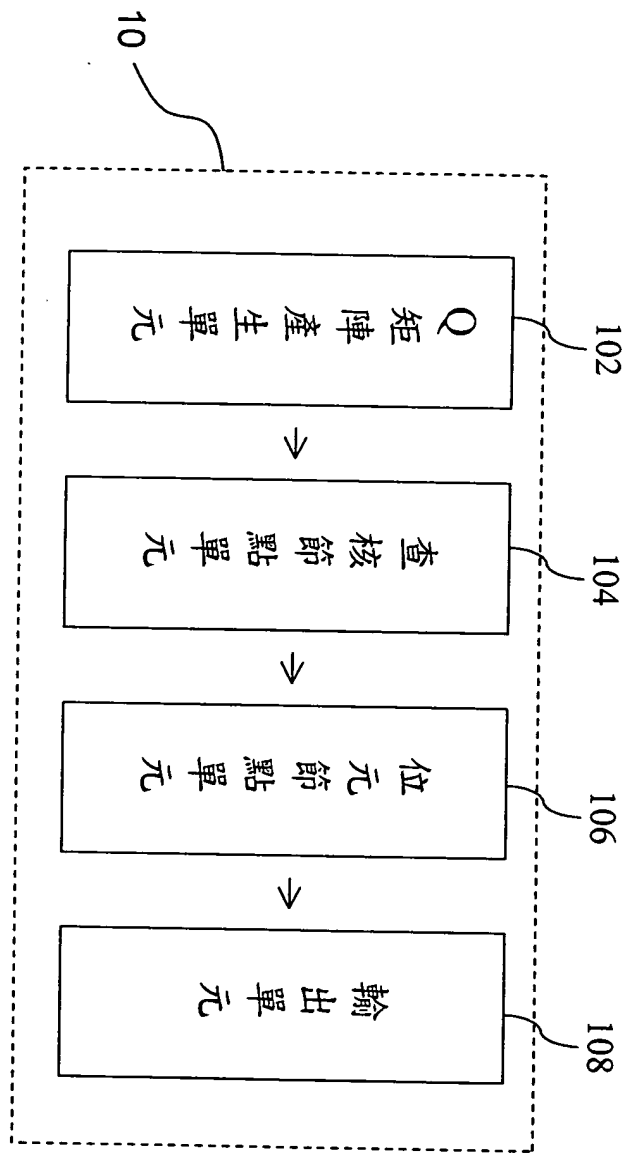
2、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該重覆數量 $N_{iteration}$ 之初始值係設定為 1。

3、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該列計算變數 N_{row} 之初始值係設定為 $\lceil \log_2(N_{input}-1) \rceil - 1$ 。

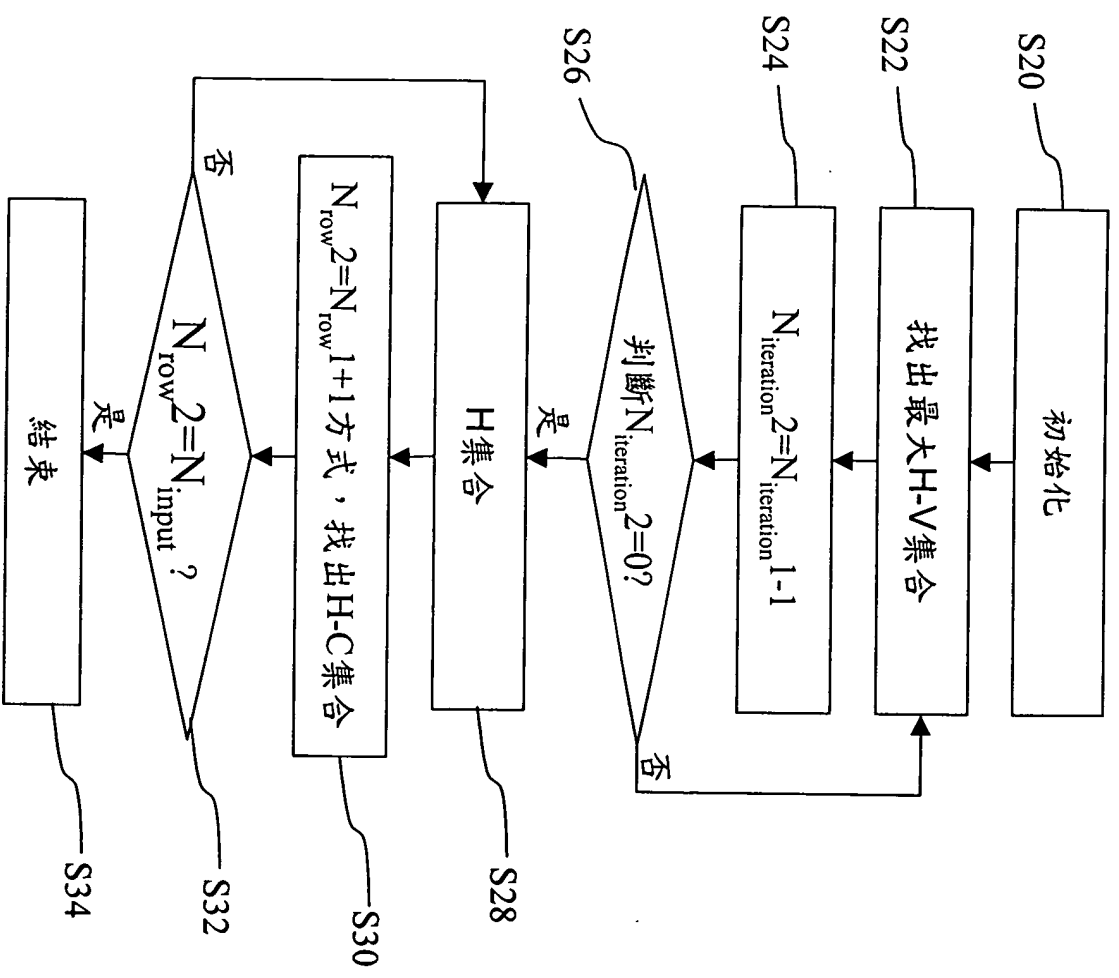
- 4、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該第一型集合係包含有 2^k 元素，且 k 為一大於 0 之整數。
- 5、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該節點單元係選自一查核節點單元 (CNU) 或是一變量節點單元 (VNU)。
- 6、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該第三型集合係包含有 2^k 元素，且 k 為一大於 0 之整數。
- 7、如申請專利範圍第 1 項所述之集合迴旋比較方法，其中該第一型集合、該第二型集合以及該第三型集合中之該元素數量係為偶數。



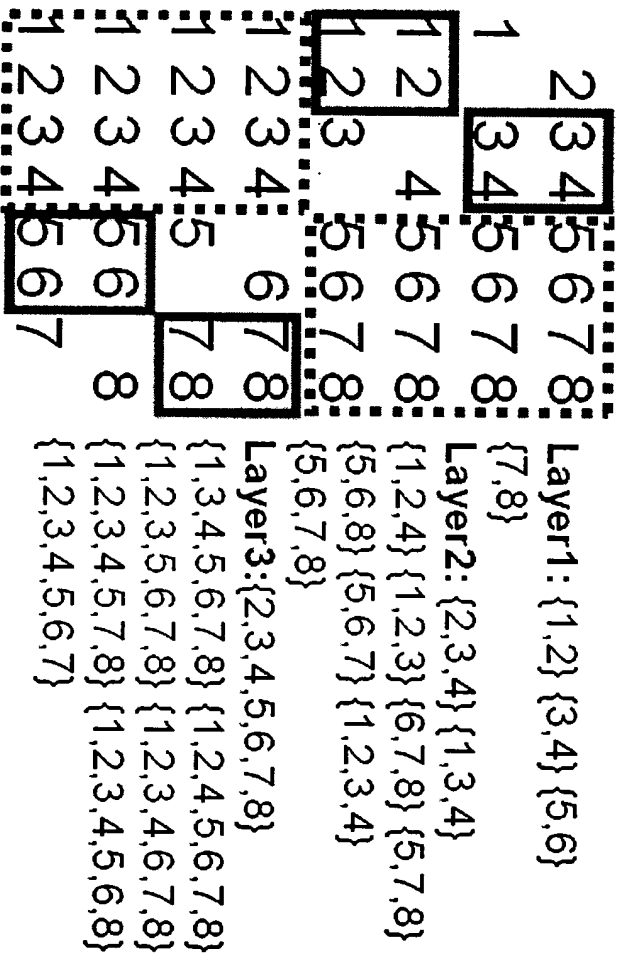
第一圖
(先前技術)



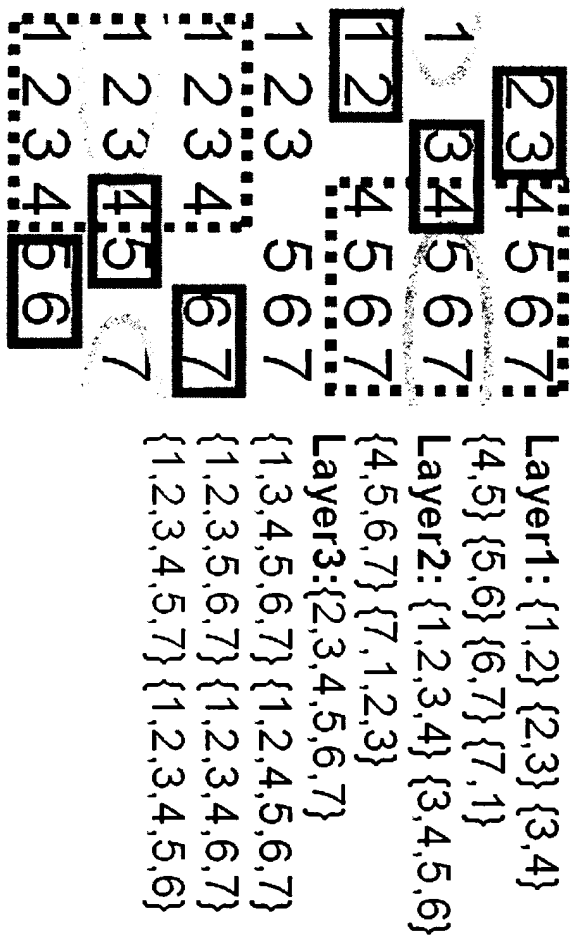
第二圖



第三圖



第四圖



第五圖