



(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 I381674B1

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 01 月 01 日

(21) 申請案號：098100206

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 01 月 06 日

(51) Int. Cl. : H04L1/06 (2006.01)

H03M13/37 (2006.01)

H04L25/03 (2006.01)

(30) 優先權：2008/07/30 美國

12/182,214

(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：張錫嘉 (TW)；廖彥欽 (TW)

(74) 代理人：林火泉

(56) 參考文獻：

US 2003/0076890A1

Stephan Baro, Joachim Hagenauer, Melanie Witzke, " Iterative Detection of MIMO Transmission Using a List-Sequential (LISS) Detector", IEEE, 2003.

Zhan Guo and Peter Nilsson, "Algorithm and Implementation of the K-Best Sphere Decoding for MIMO Detection", IEEE, 2006.

審查人員：黃偉倫

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：5 共 27 頁

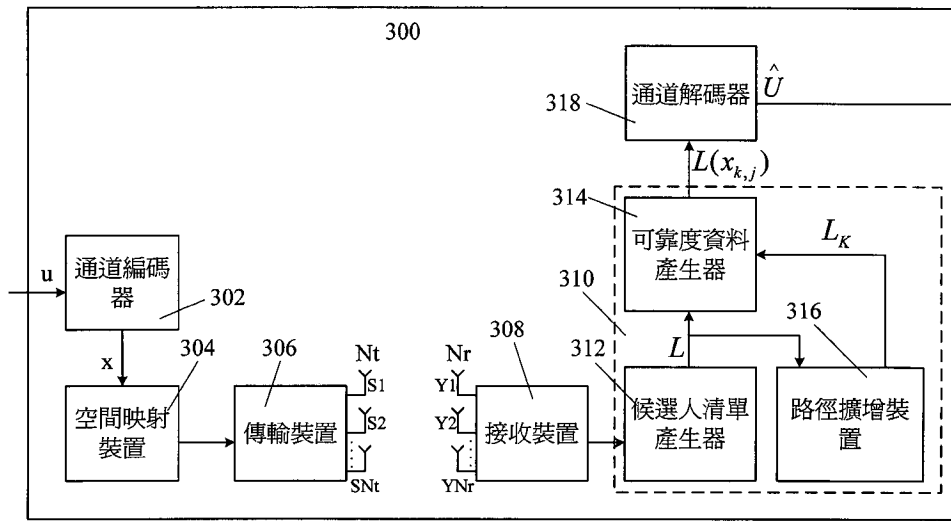
(54) 名稱

用於通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其方法

(57) 摘要

本發明係揭露一種可應用於多輸入多輸出通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其擴增方法。本發明所提出之路徑擴增方法可擴增候選人清單中之路徑以便於系統用於計算可靠度資訊，另一方面，本發明另提供一額外之校正項來動態補償可靠度資訊之準確度，進而大幅提昇多輸入多輸出系統之偵錯能力以及整體效能。

The present invention discloses a candidate list augmentation apparatus with dynamic compensation in the coded MIMO systems. The proposed path augmentation technique in the present invention can expand the candidate paths derived from the detector to a distinct and larger list before computing the soft value of each bit. Consequently, the detector is allowed to deliver a smaller list, leading to reduction in computation complexity. Moreover, an additive correction term is introduced to dynamically compensate the approximation inaccuracy in the soft value generation, which improves the efficiency and performance of the coded MIMO systems.



第三圖

- 300 . . . 多輸入多輸出系統
- 302 . . . 通道編碼器
- 304 . . . 空間映射裝置
- 306 . . . 傳輸裝置
- 308 . . . 接收裝置
- 310 . . . 清單球狀解碼器
- 312 . . . 候選人清單產生器
- 314 . . . 可靠度資訊產生器
- 316 . . . 路徑擴增裝置
- 318 . . . 通道解碼器

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)

※申請案號：98100206

※申請日：98-1-6

※IPC 分類：H04L 1/06 (2006.01)
H03M 13/37 (2006.01)
H04L 25/3 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

用於通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其方法

二、中文發明摘要：

本發明係揭露一種可應用於多輸入多輸出通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其擴增方法。本發明所提出之路徑擴增方法可擴增候選人清單中之路徑以便於系統用於計算可靠度資訊，另一方面，本發明另提供一額外之校正項來動態補償可靠度資訊之準確度，進而大幅提昇多輸入多輸出系統之偵錯能力以及整體效能。

三、英文發明摘要：

The present invention discloses a candidate list augmentation apparatus with dynamic compensation in the coded MIMO systems. The proposed path augmentation technique in the present invention can expand the candidate paths derived from the detector to a distinct and larger list before computing the soft value of each bit. Consequently, the detector is allowed to deliver a smaller list, leading to reduction in computation complexity. Moreover, an additive correction term is introduced to dynamically compensate the approximation inaccuracy in the soft value generation, which improves the efficiency and performance of the coded MIMO systems.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(3)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

300 多輸入多輸出系統

302 通道編碼器

304 空間映射裝置

306 傳輸裝置

308 接收裝置

310 清單球狀解碼器

312 候選人清單產生器

314 可靠度資訊產生器

316 路徑擴增裝置

318 通道解碼器

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其方法，特別是一種可於多輸入多輸出通道解碼系統偵測動態補償訊號之候選人清單擴增裝置及其方法。

【先前技術】

多輸出多輸入系統 (Multiple input multiple output, MIMO) 由於具有改善傳輸效率的優點，現已廣泛應用於各式各樣通訊系統當中。在各種多輸出多輸入系統偵測法當中，最大相似偵測法 (maximum likelihood detection) 係為業界廣為熟知的一種偵測法，其係廣泛用於計算系統中的分集增益 (diversity gain)。利用加成性白色高斯雜訊 (additive white Gaussian channel noise) 的特性，最大相似偵測法可以大幅地減少在已知格點 (lattice) 中的最近點搜尋 (closest-point-search)。更進一步來說，為了要增加多輸出多輸入系統中的分集增益，通道編碼技術 (channel coding) 已被證實為一種可求的無線通訊之通道容量值的方法，利用通道編碼技術，多輸出多輸入系統可以獲得更多的編解碼增益以及更低的訊號雜訊比 (signal-to-noise-ratio, SNR)。然而，最大相似偵測法需要大規模的路徑搜尋不僅會增加系統之負擔，更會增加在高階訊號調變中計算的複雜度。因此，球狀解碼法 (sphere decoding) 便為一種可實現此高計算複雜度之訊號檢測方式，其係利用定義一特定範圍之方法來進行搜尋。藉由選定一適當的搜尋範圍，球狀解碼可大幅的增進最大相似偵測法的效能。

請參閱第一圖，第一圖係為習知多輸出多輸入系統應用通道編碼法之

系統示意圖。習知多輸出多輸入系統 100 係包含有一通道編碼器 (channel encoder) 102、一空間映射裝置 (spatial mapping device) 104、一傳輸裝置 (transmit device) 106、一接收裝置 (receive device) 108、一球狀解碼器 (sphere decoder) 110、以及一通道解碼器 (channel decoder) 112。假設傳輸裝置 106 包含了 N_t 個傳送天線，而接收裝置則包含有 N_r 個接收天線。在習知多輸出多輸入系統 100 中，通道編碼器 102 係用來將初始訊號 u 進行通道編碼以產生一系列之編碼位元 $x = [x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(L)}]^T$ 。接下來，該空間映射裝置 104 會將這些編碼位元 x 經由 L 個時間間 (time slots) 來進行調變的動作。亦即，每個對應於時脈係數 t 之 x 向量 $x^{(t)} = [x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_{N_t \times 2M_c}^{(t)}]$ 係被映射為傳輸向量 (transmitted vector) $\tilde{s}^{(t)} = [\tilde{s}_1^{(t)}, \tilde{s}_2^{(t)} \dots \tilde{s}_{M_t}^{(t)}]^T$ ，並且將 $2M_c$ 位元之訊號映射為一複合訊號 (complex signal)。請注意，該空間映射裝置 104 之空間映射方法係應用空間多項傳輸 (spatial multiplexing) 方法以及 M^2 -QAM-mapped 訊號產生法。由於此技術係為熟習此項技藝者所周知，因此於此不再重複贅述。

在空間映射裝置 104 將訊號映射後，傳輸裝置 106 則將該具有傳輸向量 $\tilde{s}^{(t)}$ 之複合訊號傳遞出去，而接收裝置 108 即會依據接收向量 $\tilde{y}^{(t)}$ 來接收訊號。該傳輸向量 $\tilde{s}^{(t)}$ 以及接收向量 $\tilde{y}^{(t)}$ 的關係式可表示如下：

$$\tilde{y}^{(t)} = \tilde{H}^{(t)} \tilde{s}^{(t)} + \tilde{n}^{(t)} \quad (1)$$

其中通道 $\tilde{H}^{(t)}$ 係為一具有隨機變數 (independent and identically distributed, i. i. d.) 之複合高斯雜訊向量 (complex Gaussian random variables) 之 $N_r \times N_t$ 的矩陣；而 $\tilde{n}^{(t)}$ 係為一 $N_r \times 1$ 之隨機變數複合高斯雜訊向量。在公式 (1) 中的複合模型可進一步表示成：

$$\begin{aligned}
 y^{(t)} &= \begin{bmatrix} R\{\tilde{y}^{(t)}\} \\ L\{\tilde{y}^{(t)}\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R\{\tilde{y}^{(t)}\}, -L\{\tilde{H}^{(t)}\} \\ L\{\tilde{H}^{(t)}\}, R\{\tilde{y}^{(t)}\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R\{\tilde{s}^{(t)}\} \\ L\{\tilde{s}^{(t)}\} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R\{\tilde{n}^{(t)}\} \\ L\{\tilde{n}^{(t)}\} \end{bmatrix} \\
 &= H^{(t)} s^{(t)} + n^{(t)}
 \end{aligned} \quad (2)$$

其中， $R\{\cdot\}$ 以及 $L\{\cdot\}$ 分別代表複合訊號 $s^{(t)}$ 的實數部分以及虛數部分。亦即，具有 Nt 維 (Nt -dimensional) 的複合 M2-QAM 訊號 $s^{(t)}$ 係被轉換成 $2Nt$ 維 ($2Nt$ -dimensional) 實數 M-PAM 訊號 $y^{(t)}$ 。為求簡化，係將時間係數 t 刪除以利閱讀方便。

依據公式 (2)，最大相似偵測法即可依據具有 $2Nt$ 維 ($2Nt$ -dimensional) 之叢聚空間 (constellation space) Ω^{2Nt} 來找出最小值 (minimizer)

$$\hat{s}_{ML} = \arg \min_{s' \in \Omega^{2Nt}} \|y - Hs'\|^2 \quad (3)$$

其中函數 $\|\cdot\|^2$ 係為歐基里得模 (Euclidean norm)。如公式 (3) 所示，大規模搜尋最小值 \hat{s}_{ML} 是既耗費時程且不切實際的方法，因為計算數目係依據 Nt 以及 L 的指數增加。因此，在習知多輸出多輸入系統 100 中的球狀解碼器 110 即是利用球狀解碼的方法來解決最近格點搜尋 (closest-lattice-search) 的問題。

首先，該球狀解碼器 110 係依據一預設半徑 r 來定義搜尋範圍，並且只與在多維空間 (hypersphere) 中 $\|y - Hs'\|^2 \leq r^2$ 之 s' 的路徑矩陣 (path metric) 進行比對。亦即，公式 (2) 可進一步表示成：

$$\hat{s}_{ML} \approx \hat{s}_{SD} = \arg \min_{s' \in \Omega^{2Nt}, \|y - Hs'\|^2 \leq r^2} \|y - Hs'\|^2 \quad (4)$$

由上述公式可知，若半徑 r 選取適當的話，則至少有一路徑可以滿足上述等式。

接下來，球狀解碼器 110 係對參數 y 在公式 (4) 中來進行樹狀搜尋 (tree-search)。舉例來說，利用 QR 分解法 (QR-decomposition)，該通道矩陣可被 $H = QR$ 來加以分解，其中 $Q^T Q = I_{2N_r}$ 係為一 $2N_r$ 大小的單位矩陣 (identity matrix)，而 R 係為一 $2N_t \times 2N_t$ 大小的上三角矩陣 (upper triangular matrix)。藉由將 y 乘以 Q^T ，該球狀解碼器 110 即可將公式 (4) 轉換成：

$$\hat{s}_{ML} = \arg \min_{s' \in \Omega^{2N_t}} \|q - Rs'\|^2 \quad (5)$$

其中 $q = [q_1, q_2, \dots, q_{2N_t}] = Q^T y$ 。而每個在 Ω^{2N_t} 的 s' 係定義為樹狀搜尋中從根部穿越到葉部的一個路徑 (path)。每個路徑包含有 $2N_t$ 個節點 (node)，其係代表著在 $2N_t$ 層 ($2N_t$ -layered) 樹狀中的 $2N_t$ 個點。進一步來說，每個路徑的成本函數 (cost function) (例如 $\|q - Rs'\|^2$) 可被表示成一路徑矩陣 (path metric)，其可加以計算如下：

$$\|q - Rs'\|^2 = \sum_{i=1}^{2N_t} (q_i - \sum_{j=i}^{2N_t} R_{i,j} s_j)^2 = \sum_{i=1}^{2N_t} e(s^{(i)}) \quad (6)$$

其中 $s^{(i)}$ 代表第 i 個到第 $2N_t$ 個 s' ，換句話說， $s^{(i)} = [s_i, s_{i+1}, \dots, s_{2N_t}]^T$ 。另外， $T(s^{(i)})$ 可代表 $s^{(i)}$ 的部分歐基理得距離 (partial Euclidean distance, PED)，其可表示如下：

$$T(s^{(i)}) = \sum_{i=1}^{2N_t} (q_i - \sum_{j=i}^{2N_t} R_{i,j} s_j)^2 = T(s^{(i+1)}) + e(s^{(i)}) \quad (7)$$

由上可知，藉由習知球狀解碼之方法，只要每一條路徑有被搜尋到，則我們即可以找到一最小值 \hat{s}_{ML} 。然而，在有限計算複雜度及成本的考量下，傳統球狀解碼方法無法利用完整的向量空間來計算並提供準確的資訊。

為解決上述問題，習知多輸出多輸入系統另外提供了一種候選人清單 (candidate list) 方法來進行球狀解碼。該候選人清單係包含有最多可依靠的路徑。請參閱第二圖，第二圖係為習知多輸出多輸入系統利用候選人清單來進行通道編碼之系統示意圖。習知多輸出多輸入系統 200 係包含有一通道編碼器 (channel encoder) 202、一空間映射裝置 (spatial mapping device) 204、一傳輸裝置 (transmit device) 206、一接收裝置 (receive device) 208、一清單球狀解碼器 (list sphere decoder) 210、以及一通道解碼器 (channel decoder) 216。其中傳輸裝置 206 包含了 N_t 個傳送天線，而接收裝置 208 則包含有 N_r 個接收天線。由於第二圖所示之裝置與第一圖所示之裝置中的同名元件係具有相同的功能與操作，因此於此不再重複贅述。比較第一圖以及第二圖，在第二圖中之多輸出多輸入系統 200 係另包含有一清單球狀解碼器 210。該清單球狀解碼器 210 包含有一候選人清單產生器 (candidate list generation device) 212、以及一可靠度資訊產生器 (soft value generation device) 214。候選人清單產生器 212 係用來產生一候選人清單 (candidate list) L 。假設 $|L|$ 為該清單之大小，依據上述公式 (2) 之系統模組，則最可靠之 $|L|$ 數目的路徑係相等於對應最小 $|L|$ 之路徑矩陣 (path metrics)。在候選人清單產生器 212 產生該候選人清單 L 後，可靠度資訊產生器 214 則依據該清單 L 來計算相對應的可靠度輸入訊號。在後續的解碼過程中，不同的可靠度輸入訊號會有不同的錯誤校正能力。有關候選人清單產生器 212 以及可靠度資訊產生器 214 之操作原理係進一步詳述如下。

假設 $M(\cdot)$ 為 M -PAM 之映射函數，而 $s_k = M(x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,M_c})$ 。

對於任何路徑 $s' \in L$ ，則對於 $x_{k,j}$ 之可靠度資訊 (soft value) 可藉由其事後機率 (a posteriori probabilities) 來加以定義出來：

$$L(x_{k,j}) = \log \frac{\Pr(x_{k,j} = 0 | y)}{\Pr(x_{k,j} = 1 | y)} \quad (8)$$

$$= \log \frac{\Pr(x_{k,j} = 0)}{\Pr(x_{k,j} = 1)} + \log \frac{\Pr(y | x_{k,j} = 0)}{\Pr(y | x_{k,j} = 1)} \quad (9)$$

請注意，在公式 (9) 中之第一項即為事前 (a priori) 資訊，其中該項在最大相似偵測法中可設為零，或是利用通道解碼器 216 在疊代解碼 (iterative) 過程中所求得的外部資訊來加以計算出來。而在公式 (9) 中之第二項則可進一步推算成：

$$\log \frac{\Pr(y | x_{k,j} = 0)}{\Pr(y | x_{k,j} = 1)} = \log \frac{\sum_{s' \in \Omega_{j,0}} \Pr(y | s')}{\sum_{s' \in \Omega_{j,1}} \Pr(y | s')} \quad (10)$$

$$\approx \frac{1}{2\sigma^2} (\min_{s' \in \Omega_{j,1}} \|y - Hs'\|^2 - \min_{s' \in \Omega_{j,0}} \|y - Hs'\|^2) \quad (11)$$

$$\approx \frac{1}{2\sigma^2} (\min_{s' \in \Omega_{j,1} \cap L} \|y - Hs'\|^2 - \min_{s' \in \Omega_{j,0} \cap L} \|y - Hs'\|^2) \quad (12)$$

其中 σ^2 係為一干擾變數 (noise variance)，而 $\Omega_{j,b}$ 係為一具有 $x_{k,j} = b$ 當 $b = 0, 1$ 之所有路徑之集合。換句話說， $\Omega_{j,0}$ 即代表該集合內所有的 s' 具有 $x_{k,j} = 0$ 之特性；而 $\Omega_{j,1}$ 即代表該集合內所有的 s' 具有 $x_{k,j} = 1$ 之特性。一般來說，傳統候選人清單產生器 212 會產生一組相當大數目的清單以確保在公式 (11) 以及公式 (12) 中找到最小路徑 (minimizer) 的可能性。另一方面，公式 (12) 可進一步被替換成：

$$\frac{1}{2\sigma^2} (\min_{s' \in \Omega_{j,1} \cap L} \|q - Rs'\|^2 - \min_{s' \in \Omega_{j,0} \cap L} \|q - Rs'\|^2) \quad (13)$$

然而，當清單 L 內並沒有集合 $\Omega_{j,0}$ 或是集合 $\Omega_{j,0}$ 中所包含的路徑 s' 時（亦即 $\Omega_{j,0} \cap L = 0$ 或 $\Omega_{j,1} \cap L = 0$ ），我們就無法在該空集合內找到最小路徑。由於系統中最小路徑之初始值通常預設為一很大之常數，因此，若系統無法找出正確的最小路徑，則在後續通道解碼器 216 進行可靠度分析時，即會產生很大的誤差，進而大大地減低系統偵錯的效能。另一方面，雖然上述之缺點可用加大清單的大小的方式來加以補救，亦即過大的清單可以減少產生空集合的機率。然而，訊號檢測端之計算複雜度與其產生之候選人清單大小成正相關，產生較大的候選人清單亦大幅增加了系統計算之複雜度。

因此，為解決上述所發生的問題，本發明提供一種通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其擴增方法，並且應用動態補償的原理，來增進多輸入多輸出系統之偵錯能力及整體效能。

【發明內容】

本發明之主要目的在提供一種可應用於多輸入多輸出通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其擴增方法，以增進系統之偵錯能力以及整體效能。

本發明之另一目的在提供一種用於通道編解碼系統之候選人清單擴增裝置，其包含：一候選人清單產生器，其係在一通道編解碼系統中接收一輸入訊號，並且依據該輸入訊號產生一候選人清單；一路徑擴增裝置，耦接於該候選人清單產生裝置，其係依據該候選人清單來擴增該候選人清單中之路徑，並且產生一擴增清單；以及一可靠度資訊產生器，耦接於該候選人清單產生器以及該路徑擴增裝置，其係比較該輸入訊號以及該擴增清單，並依據該輸入訊號、該候選人清單、以及該擴增清單來產生一可靠度

資訊 (soft value)，其中該可靠度資訊係用於當該輸入訊號解碼時對該輸入訊號進行錯誤校正的動作。

本發明亦提供一種用於通道編解碼系統之候選人清單擴增方法，其包含有：(1) 接收一輸入訊號，並且依據該輸入訊號產生一候選人清單；(2) 依據該候選人清單來產生一擴增清單；以及 (3) 比較該輸入訊號以及該擴增清單，並依據該輸入訊號、該候選人清單、以及該擴增清單來產生一可靠度資訊 (soft value)，其中該可靠度資訊係用於當該輸入訊號解碼時對該輸入訊號進行錯誤校正的動作。

茲為使 貴審查委員對本發明之結構特徵及所達成之功效更有進一步之瞭解與認識，謹佐以較佳之實施例圖及配合詳細之說明，說明如後：

【實施方式】

本發明之主要係提供一種通道解碼系統之候選人清單擴增裝置及其擴增方法，並且應用動態補償的原理，來增進多輸入多輸出系統之偵錯能力及整體效能。

請參閱第三圖，第三圖係為本發明之具有候選人清單擴增裝置之多輸入多輸出系統之功能方塊圖。該多輸入多輸出系統 (Multiple input multiple output, MIMO) 300 包含有一通道編碼器 (channel encoder) 302、一空間映射裝置 (spatial mapping device) 304、一傳輸裝置 (transmit device) 306、一接收裝置 (receive device) 308、一清單球狀解碼器 (list sphere decoder) 310、以及一通道解碼器 (channel decoder) 318。該清單球狀解碼器 310 包含有一候選人清單產生器 (candidate list generation device) 312、以及一可靠度資訊產生器 (soft value generation device)

314、以及一路徑擴增裝置 (path augmentation device) 316。該候選人清單產生器 312 係用來從一多輸入多輸出系統中接收一輸入訊號 (input signal)，並且依據該輸入訊號來產生一組候選人清單出來。而該路徑擴增裝置 316 係連接於該候選人清單產生器 312，其係用來依據該候選人清單來擴增該候選人清單內的路徑，並且產生一擴增清單 (augmented list) 出來。

另一方面，該可靠度資訊產生器 (314) 係連接於該路徑擴增裝置 316 以及該候選人清單產生器 312 之間，其係用來比較該輸入訊號以及該擴增清單，然後依據該輸入訊號、該候選人清單以及該擴增清單來產生一可靠度資訊 (soft value)。其中該可靠度資訊係可用來對該輸入訊號來進行錯誤校正的動作。由於第三圖所示之裝置與第二圖所示之裝置中的同名元件係具有相同的功能與操作，因此於此不再重複贅述。在本發明中，路徑擴增裝置 316 可相對地提供一組較大的候選人清單來減少系統找不到最小值的機率。因此，在本發明中，該路徑擴增裝置 316 可視為一額外補充裝置 (enhancement)。亦即，本發明無需更改習知候選人清單產生器 312 以及可靠度資訊產生器 314 之運作原理，即可達到增強系統偵錯能力的目的。

在本發明中，為了要計算出可靠度資訊 $L(x_{k,j})$ ，路徑擴增裝置 316 首先將候選人清單中的路徑 s' 複製 (duplicate) $M - 1$ 次，亦即將候選人清單中的具有 L 個的路徑 s' 擴增成 M 個。接下來，將在 M 相同路徑中之所有第 k 個位元替換成不同的 ω_j ，其中 $\Omega = \{\omega_j \mid j = 0, 1, \dots, M - 1\}$ 。而 M 係象徵 M -PAM 叢聚 (M -PAM constellation)。接著，路徑擴增裝置 316 會持續重複複製以及替換的動作，直到 L 裡面的所有路徑都被檢驗過為

止。如此一來，候選人清單 L 即被擴增為 L_k ，而 $|L_k| = M \times |L|$ 。雖然相同的路徑可能會在不同的 L_k 中重複偵測到，然而，本發明中之路徑擴增方法卻可保證在 $\Omega_{j,0} \cap L_k$ 或是 $\Omega_{j,1} \cap L_k$ 中絕對不會出現空集合。因為該擴增清單係包含了在第 k 層中所有的叢聚點 (constellation point)。另一方面，在本發明中，經由路徑擴增的方式可使得在 L 以及擴增清單中的路徑會更可靠。該最小路徑 (minimizer) 則可推導如下：

$$\min_{s' \in \Omega_{j,0}} \|y - Hs'\|^2 \approx \min_{s' \in \Omega_{j,0} \cap L_k} \|y - Hs'\|^2 \quad (14)$$

以及

$$\min_{s' \in \Omega_{j,1}} \|y - Hs'\|^2 \approx \min_{s' \in \Omega_{j,1} \cap L_k} \|y - Hs'\|^2 \quad (15)$$

更進一步來說，從 s' 擴增的第 j 個路徑矩陣 (path metric) 可加以計算如下：

$$T(s') + (\Delta_i R_{i,i})^2 + 2 \left(y_i - \sum_{j=i}^{2N_i} R_{i,j} S_j \right) R_{i,i} \Delta_i \quad (16)$$

其中 $\Delta_j = s_k - \omega_j$ 對於 $j = 0, 1, \dots, M-1$ 。

舉例來說，請參閱第四圖，第四圖係為本發明一實施例中路徑擴增裝置 316 之操作示意圖。假設在本發明中之路徑擴增裝置 316 係用來在一個 16-QAM 4×4 多輸入多輸出系統中之計算 $L(X_{5,0})$ 以及 $L(X_{5,1})$ 。其中 4-PAM、8 層之樹狀圖可相對應於一個八階 (8-stage) 之格狀圖 (trellis diagram)。在 L 中之每個路徑 s' 係相對應於在格狀圖中的每個路徑。在本實施例中， $s' = \{+1, -1, -1, +1, +3, -1, -3, -1\}$ 、 $M = 4$ 、而 $\Omega = \{-3, -1, +1, +3\}$ 。由圖可知，路徑擴增裝置 316 可將路徑 s' 擴增成四種不同的路徑，並且包含了所有 s_s 的叢聚點來計算 $L(X_{5,0})$ 以及 $L(X_{5,1})$ 。如第四圖所示，實線代表 $\Omega_{j,0}$ ，而虛線代表 $\Omega_{j,1}$ 。

由上述公式可知，本發明路徑擴增方法需要執行 $2N_t$ 次來對 s 來進行解碼，而公式 (16) 係為本發明主要的計算準則。另外，在公式 (16) 中之 Δ_j 係具有一有限之值及範圍，因此其可利用預先設定之查詢表(look up table) 來加以得知。請注意，在本發明實施例中，路徑 s' 可被擴增成無數個 M 路徑，然而，若考量到路徑擴增裝置 316 之處理能力，則 L_k 亦可被部分擴增即可。換句話說，該可靠度資訊即可藉由較可靠之路徑 $|L| \times M$ (其中 $0 < M < 1$) 來加以產生。總括來說，依據本發明之路徑擴增方法， M 的值可依據設計需求來加以調整。

另一方面，在本發明中之路徑擴增裝置 316 可進一步執行動態補償 (dynamic compensation) 的動作來增進系統偵錯的效能。亦即，路徑擴增裝置 316 可藉由引入一個額外的校正項 (correction term) 來改善通道解碼器 318 的正確性及其錯誤校正能力。其動補償原理係描述如下：首先，假設 n_0 以及 n_1 分別代表 $\Omega_{j,0} \cap L_k$ 以及 $\Omega_{j,1} \cap L_k$ 的大小，且 $n_0 + n_1 = |L|$ 。另一方面，讓

$$m_0 = \min_{s' \in \Omega_{j,0}} \|q - Rs'\|^2 \quad (17)$$

以及

$$m_1 = \min_{s' \in \Omega_{j,1}} \|q - Rs'\|^2 \quad (18)$$

如此一來，本發明之路徑擴增裝置 316 即可將習知球狀解碼方法中的公式 (10) 擴展成：

$$\log \frac{\sum_{s' \in \Omega_{j,0}} \Pr(y | s')}{\sum_{s' \in \Omega_{j,1}} \Pr(y | s')} = \log \frac{\sum_{s' \in \Omega_{j,0}} \Pr(q | s')}{\sum_{s' \in \Omega_{j,1}} \Pr(q | s')}$$

$$= \frac{(m_1 - m_0)}{2\sigma^2} + \log \frac{1 + \sum_{i=1}^{n_0-1} e^{\frac{-1}{2\sigma^2}(a_i - m_0)}}{1 + \sum_{i=1}^{n_1-1} e^{\frac{-1}{2\sigma^2}(b_i - m_1)}} \quad (19)$$

其中 $\{m_0, a_1, a_2, \dots, a_{n_0}\} = \{T(s') \mid \forall s' \in \Omega_{j,0} \cap L\}$ ，而 $\{m_1, b_1, b_2, \dots, b_{n_1}\} = \{T(s') \mid \forall s' \in \Omega_{j,1} \cap L\}$ 。對於較大的候選人清單， $\log \frac{n_0}{n_1} \approx \log \frac{\Pr(x_j = 0)}{\Pr(x_j = 1)}$ ，

且其內部資訊 (intrinsic information) 係可由最大事後偵測器 (maximum “a posteriori” detector) 來加以獲得。另一方面，在公式 (19) 中之第二項以及其內部資訊可加以組成：

$$\beta \log \frac{1 + n_0}{1 + n_1} \cong \log \frac{(1 + \sum_{i=1}^{n_0-1} e^{\frac{-1}{2\sigma^2}(a_i - m_0)})}{(1 + \sum_{i=1}^{n_1-1} e^{\frac{-1}{2\sigma^2}(b_i - m_1)})} + \log \frac{\Pr(x_j = 0)}{\Pr(x_j = 1)} \quad (20)$$

其中 $\frac{n_0}{n_1}$ 係可改成 $\frac{1+n_0}{1+n_1}$ 來避免對數運算中的零點或是無限值。最

後，本發明中之可靠度資訊產生器 314 係可依據下列公式將可靠度資訊計算出來：

$$L(x_{k,j}) \approx \frac{-1}{2\sigma^2} (m_1 - m_0 + \beta \log \frac{1+n_0}{1+n_1}) \quad (21)$$

$$\approx (m_1 - m_0 + \beta \log \frac{1+n_0}{1+n_1}) \quad (22)$$

其中 β 係為一常態因子 (normalization factor)，而 $n_1 = |L| - n_0$ 。由公式 (21) 可知，從動態補償項 $\beta \log \frac{1+n_0}{1+n_1}$ 所需的計算負擔為：一個乘法、兩個對數運算、以及最多 $|L| + 1$ 次累加 n_0 。更進一步來說，若 $\Omega_{j,0} \cap L_k$ (或 $\Omega_{j,1} \cap L_k$) 為空集合，則 m_0 (或 m_1) 會被在 L 中之最大路徑矩陣 (maximum path metric) 來加以判斷。請注意，在本發明實施例中，在公式 (21) 以及公式 (22) 所描述之可靠度資訊 $L(x_{k,j})$ 之計算方法係針對

此實施例來加以設定。然而，本發明並不限定產生可靠度資訊的方式及其方程式解。亦即，在其他的實施例中，可靠度資訊 $L(x_{k,j})$ 之計算方程式亦可依照當時的設計需求來加以改變。舉例來說，為求簡化，本發明之可靠度資訊產生器 314 可藉由下列公式來產生另一組可靠度資訊 $L(x_{k,j})$ 來：

$$L(x_{k,j}) \approx m_1 - m_2 \quad (23)$$

請參閱第五圖，第五圖係為本發明候選人清單擴增方法之模擬結果示意圖。此電腦模擬係依據一 4×4 MIMO 系統，並且利用 IEEE802.11n 之 (648, 324) 以及 (1944, 972) 之頻道編碼方式來加以進行。另外，該候選人清單係利用 K-best 演算法來產生。如第五圖所示，為使得位元錯誤率 (bit error rate, BER) 小於 10^{-5} ，習知候選人清單偵測方法 (LSDs) 之清單大小 K 必須要大於 128。然而，在第五圖中，本發明所提供之清單擴充方法 (A-LSD) 可大幅改善系統的訊號雜訊比 (SNR)，亦即由圖所示，將原本之訊號雜訊比依據不同之 K 值，從 1dB 降低至 0.3dB，尤其當 K 值越小時其效果更為顯著。換句話說，本發明所提供之路徑擴增方法可等效地提供更多的候選位元，因而使通道解碼器之解碼效能得以增進，並且在 64-best A-LSD 演算法中能有較低的錯誤基數 (error floor)。

綜上所述，本發明所提供之路徑擴增方法可確保計算可靠度資訊時不會產生空集合，進而找到所需的最小路徑。確切來說，相較於直接從系統中產生一個較大的候選人清單之習知方法，本發明之路徑擴增法大幅降低了多輸入多輸出系統之計算複雜度。更進一步來說，本發明所提供之路徑擴增方法亦可應用於不同之解碼演算法中，例如：球狀解碼法、清單解碼

法、M 演算法、T 演算法、或是 K-best 演算法等等。此外，本發明另外提供了一額外校正項來對習知之清單球狀解碼法來進行動態補償。總而言之，本發明所提供之清單擴增法以及動態補償法可大幅地降低系統計算之複雜度，並減緩發生錯誤基數之現象，進而增進系統之整體效能。

以上所述者，僅為本發明一較佳實施例而已，並非用來限定本發明實施之範圍，故舉凡依本發明申請專利範圍所述之形狀、構造、特徵及精神所為之均等變化與修飾，均應包括於本發明之申請專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第一圖係為習知多輸出多輸入系統應用通道編碼法之系統示意圖。

第二圖係為習知多輸出多輸入系統利用候選人清單來進行通道編碼之系統示意圖。

第三圖係為本發明之具有候選人清單擴增裝置之多輸出多輸入系統之功能方塊圖。

第四圖係為本發明一實施例中路徑擴增裝置之操作示意圖。

第五圖係為本發明候選人清單擴增方法之模擬結果示意圖。

【主要元件符號說明】

100 多輸出多輸入系統

102 通道編碼器

104 空間映射裝置

106 傳輸裝置

108 接收裝置

110 球狀解碼器

- 112 通道解碼器
- 200 多輸出多輸入系統
- 202 通道編碼器
- 204 空間映射裝置
- 206 傳輸裝置
- 208 接收裝置
- 210 清單球狀解碼器
- 212 候選人清單產生器
- 214 可靠度資訊產生器
- 216 通道解碼器
- 300 多輸入多輸出系統
- 302 通道編碼器
- 304 空間映射裝置
- 306 傳輸裝置
- 308 接收裝置
- 310 清單球狀解碼器
- 312 候選人清單產生器
- 314 可靠度資訊產生器
- 316 路徑擴增裝置
- 318 通道解碼器

七、申請專利範圍：

1. 一種用於通道編解碼系統之候選人清單擴增裝置，其包含：

一候選人清單產生器，其係在一通道編解碼系統中接收一輸入訊號，並且依據該輸入訊號產生一候選人清單；

一路徑擴增裝置，耦接於該候選人清單產生裝置，其係藉由複製將該候選人清單之路徑 $M-1$ 次來將每個該路徑擴增成至 M 個路徑，再將該 M 個路徑之該第 k 個位元資訊從一原本集合 $\Omega = \{\omega_j \mid j = 0, 1, \dots, M-1\}$ 中替換成不同之 ω_j ，以產生一擴增清單；以及

一可靠度資訊產生器，耦接於該候選人清單產生器以及該路徑擴增裝置，其係比較該輸入訊號以及該擴增清單，並依據該輸入訊號、該候選人清單、以及該擴增清單來產生一可靠度資訊 (soft value)，其中該可靠度資訊係用於當該輸入訊號解碼時對該輸入訊號進行錯誤校正的動作。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該候選人清單包含有複數個路徑，且每個該路徑係包含有複數個用於解碼該輸入訊號之位元資訊。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該候選人清單產生器係可依據球狀解碼演算法 (sphere decoding algorithm)、清單解碼演算法 (list decoding algorithm)、M 演算法、T 演算法、或 K-best 演算法來產生該候選人清單。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該通道解碼系統係包含有編碼多輸入多輸出系統 (coded MIMO system)。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該路徑擴增裝置係將該在該候選人清單中之該 M 路徑分為一第一集合 $\Omega_{j,0}$ 、以及一第二集合 $\Omega_{j,1}$ ，其中該第一集合 $\Omega_{j,0}$ 中所有該路徑之第 j 個位元資訊係為一第一位元（例如零），而該第二集合 $\Omega_{j,1}$ 中所有該路徑之第 j 個位元資訊係為一第二位元（例如一）。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該路徑擴增裝置可依據 $m_0 = \min_{s' \in \Omega_{j,0}} \|q - R_{s'}\|^2$ 來計算該第一集合 $\Omega_{j,0}$ 中之一第一最小路

徑 (minimizer) m_0 ，並且可依據 $m_1 = \min_{s' \in \Omega_{j,1}} \|q - R_{s'}\|^2$ 來計算該第二集合 $\Omega_{j,1}$ 中之一第二最小路徑 (minimizer) m_1 ，其中 $\|q - R_{s'}\|^2$ 係代表該候選人清單之路徑矩陣 (path metric)。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該可靠度資訊產生器係可依據下例公式來產生該可靠度資訊 $L(x_k, j)$ ：

$$L(x_{k,j}) \approx \frac{-1}{2\sigma^2} (m_1 - m_0 + \beta \log \frac{1+n_0}{1+n_1})$$

其中 σ^2 係為一干擾變數 (noise variance)， β 係為一常態因子 (normalization factor)， n_0 以及 n_1 分別代表該第一集合以及該第二集合之大小，而 $n_0 + n_1$ 相等於該候選人清單之大小。

8. 如申請專利範圍第 6 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該可靠度資訊產生器係可依據下例公式來產生該可靠度資訊 $L(x_k, j)$ ：

$$L(x_{k,j}) \approx m_1 - m_0 + \beta \log \left(\frac{1+n_0}{1+n_1} \right)$$

其中 β 係為一常態因子 (normalization factor)， n_0 以及 n_1 分別代

表該第一集合以及該第二級合之大小，而 $n_0 + n_1$ 相等於該候選人清單之大小。

9. 如申請專利範圍第 6 項所述之候選人清單擴增裝置，其中該可靠度資訊產生器係可依據下例公式來產生該可靠度資訊 $L(x_{k,j})$ ：

$$L(x_{k,j}) \approx m_1 - m_0。$$

10. 一種用於通道編解碼系統之候選人清單擴增方法，其包含：

- (1) 接收一輸入訊號，並且依據該輸入訊號產生一候選人清單；
- (2) 藉由複製將該候選人清單之路徑 $M-1$ 次來將每個該路徑擴增成至 M 個路徑，再將該 M 個路徑之該第 k 個位元資訊從一原本集合 $\Omega = \{\omega_j \mid j = 0, 1, \dots, M-1\}$ 中替換成不同之 ω_j ，來產生一擴增清單；以及
- (3) 比較該輸入訊號以及該擴增清單，並依據該輸入訊號、該候選人清單、以及該擴增清單來產生一可靠度資訊 (soft value)，其中該可靠度資訊係用於當該輸入訊號解碼時對該輸入訊號進行錯誤校正的動作。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述之候選人清單擴增方法，其中該候選人清單包含有複數個路徑，且每個該路徑係包含有複數個用於解碼該輸入訊號之位元資訊。

12. 如申請專利範圍第 10 項所述之候選人清單擴增方法，其中步驟 (1) 另包含有：依據球狀解碼演算法 (sphere decoding algorithm)、清單解碼演算法 (list decoding algorithm)、M 演算法、T 演算法、

或 K-best 演算法來產生該候選人清單。

13. 如申請專利範圍第 10 項所述之候選人清單擴增方法，其中步驟 (2) 另包含有：將該在該候選人清單中之該 M 路徑分為一第一集合 $\Omega_{j,0}$ 、以及一第二集合 $\Omega_{j,1}$ ，其中該第一集合 $\Omega_{j,0}$ 中所有該路徑之第 j 個位元資訊係為一第一位元（例如零），而該第二集合 $\Omega_{j,1}$ 中所有該路徑之第 j 個位元資訊係為一第二位元（例如一）。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述之候選人清單擴增方法，其中可依據

$$m_0 = \min_{s' \in \Omega_{j,0}} \|q - R s'\|^2$$

來計算該第一集合 $\Omega_{j,0}$ 中之一第一最小路徑

(minimizer) m_0 ，並且可依據 $m_1 = \min_{s' \in \Omega_{j,1}} \|q - R s'\|^2$ 來計算該第二集合

$\Omega_{j,1}$ 中之一第二最小路徑 (minimizer) m_1 ，其中 $\|q - R s'\|^2$ 係代表該候選人清單之路徑矩陣 (path metric)。

15. 如申請專利範圍第 14 項所述之候選人清單擴增方法，其中可依據下列

公式來產生該可靠度資訊 $L(x_k, j)$ ：

$$L(x_{k,j}) \approx \frac{-1}{2\sigma^2} (m_1 - m_0 + \beta \log \frac{1+n_0}{1+n_1})$$

其中 σ^2 係為一干擾變數 (noise variance)， β 係為一常態因子 (normalization factor)， n_0 以及 n_1 分別代表該第一集合以及該第二級合之大小，而 $n_0 + n_1$ 相等於該候選人清單之大小。

16. 如申請專利範圍第 14 項所述之候選人清單擴增方法，其中可依據下列

公式來產生該可靠度資訊 $L(x_k, j)$ ：

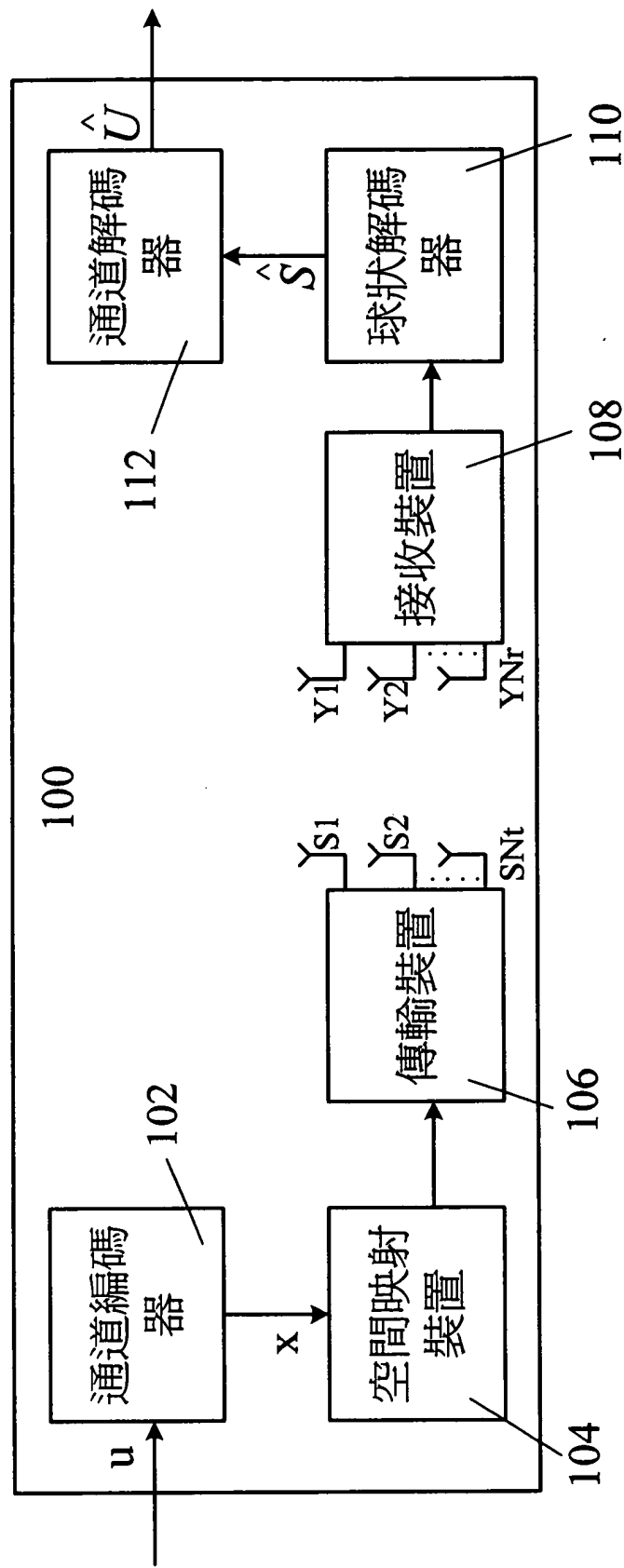
$$L(x_{k,j}) \approx m_1 - m_0 + \beta \log \left(\frac{1+n_0}{1+n_1} \right)$$

其中 β 係為一常態因子 (normalization factor)， n_0 以及 n_1 分別代表該第一集合以及該第二集合之大小，而 $n_0 + n_1$ 相等於該候選人清單之大小。

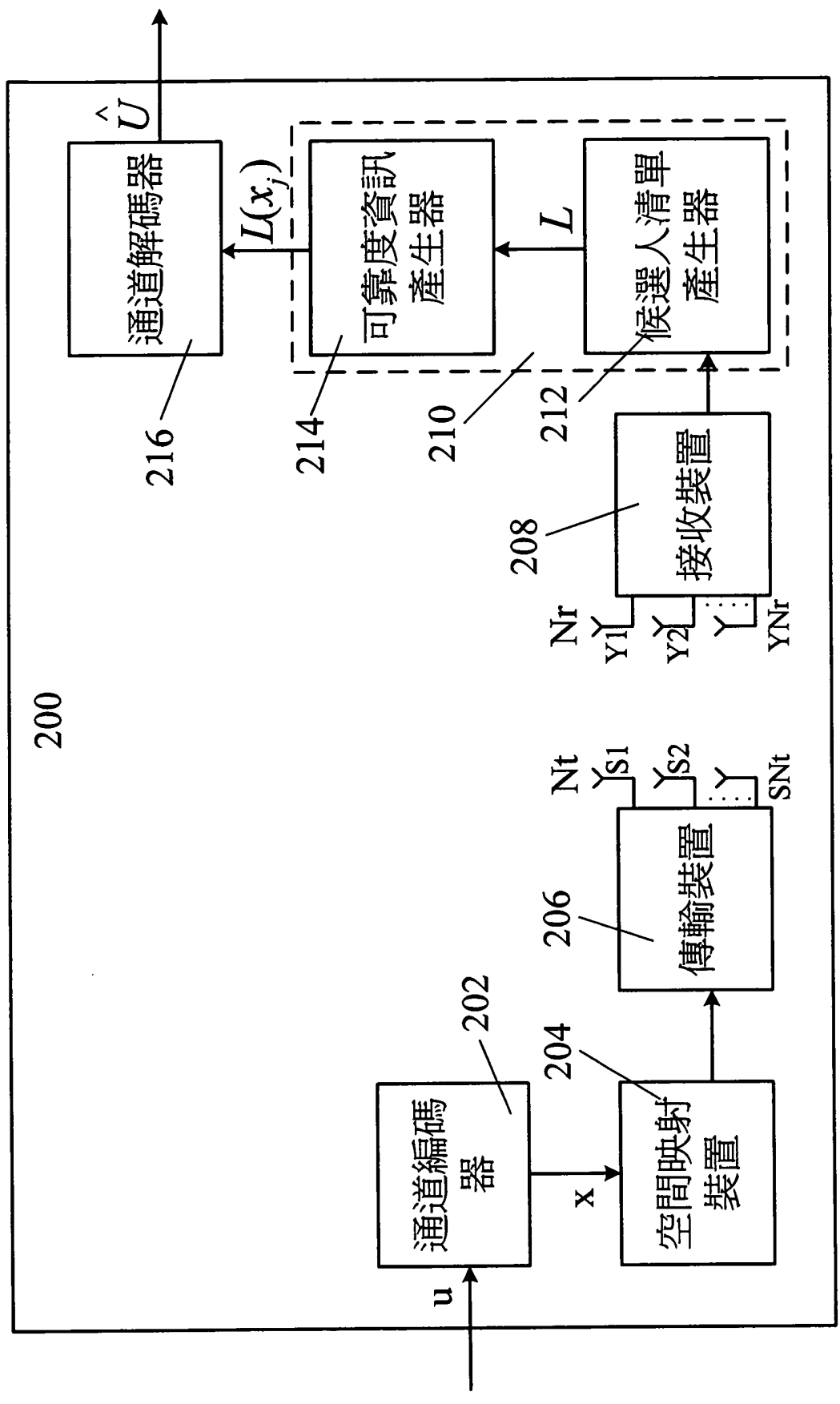
17. 如申請專利範圍第 14 項所述之候選人清單擴增方法，其中可依據下列公式來產生該可靠度資訊 $L(x_k, j)$ ：

$$L(x_{k,j}) \approx m_1 - m_0。$$

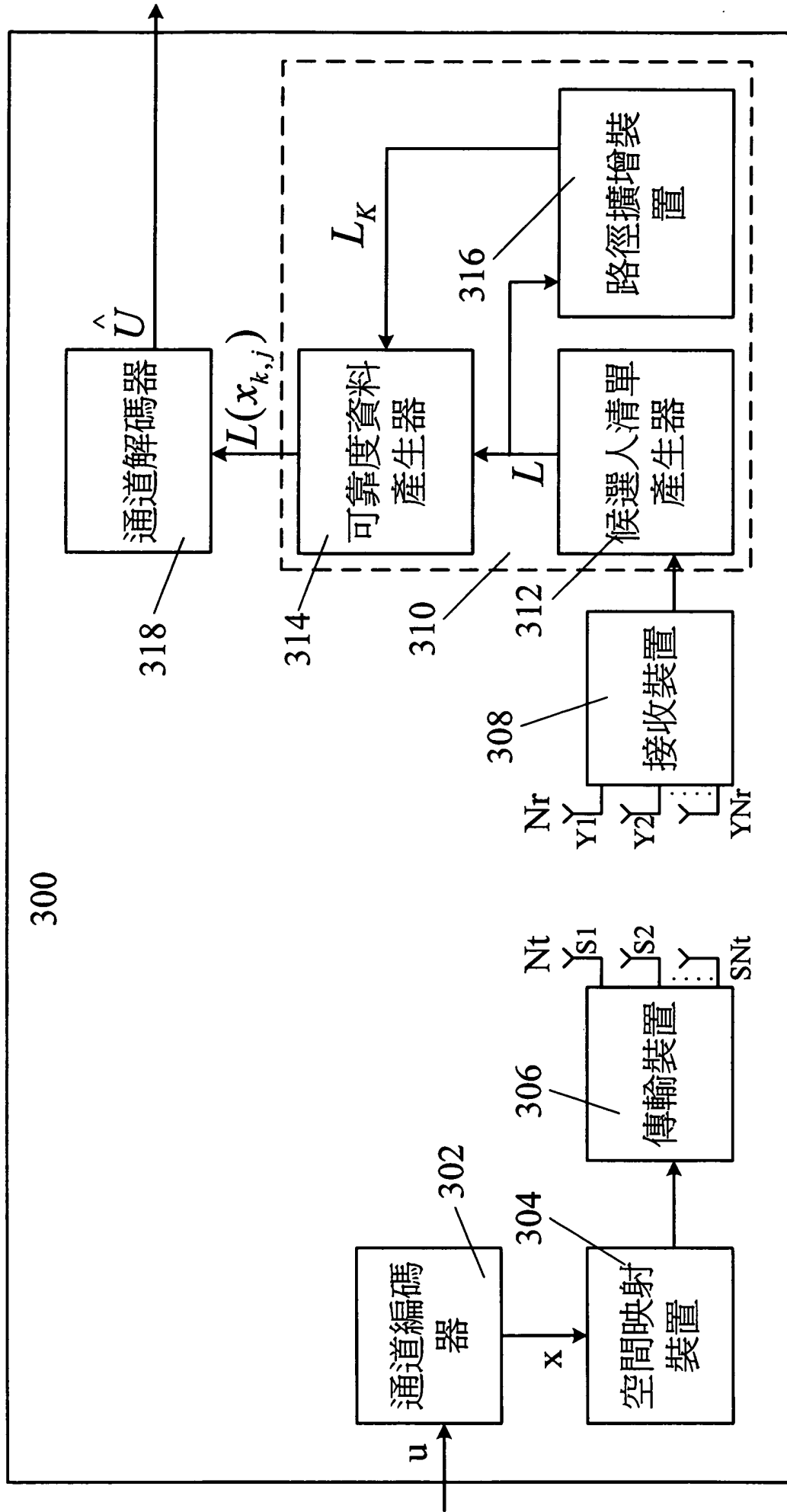
八、圖式：



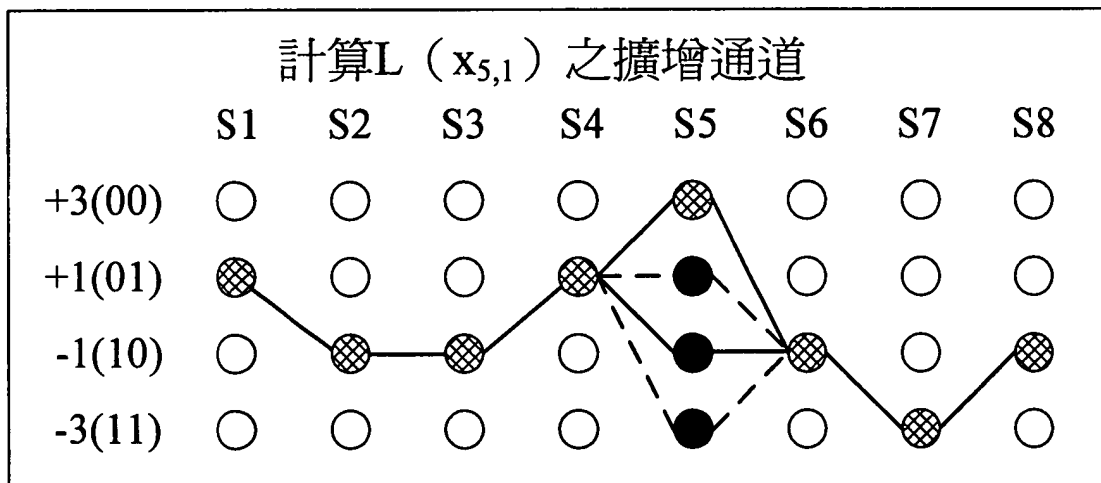
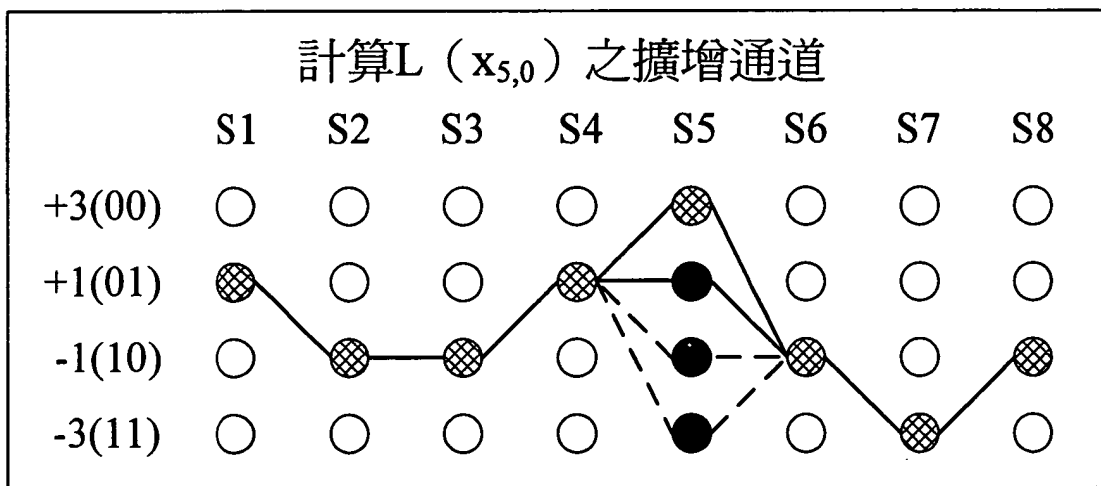
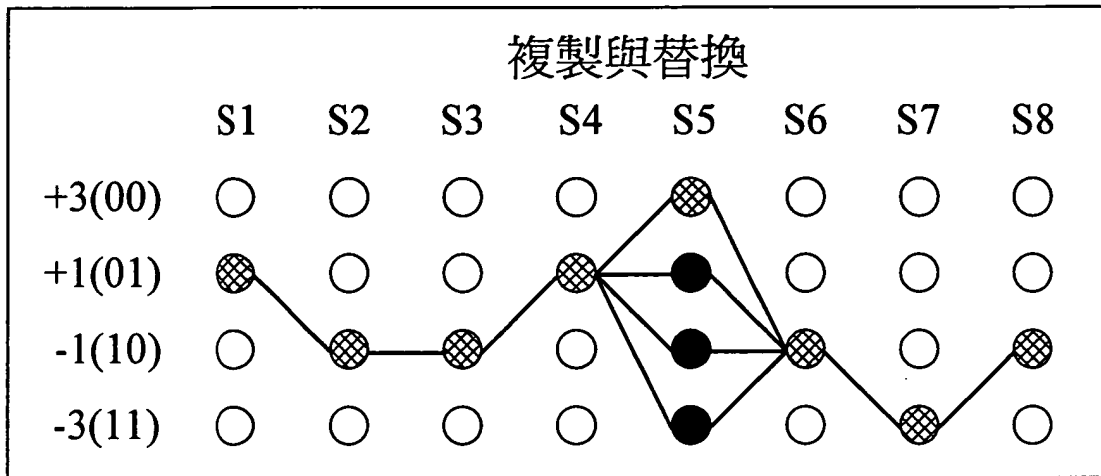
第一圖(先前技術)



第二圖 (先前技術)

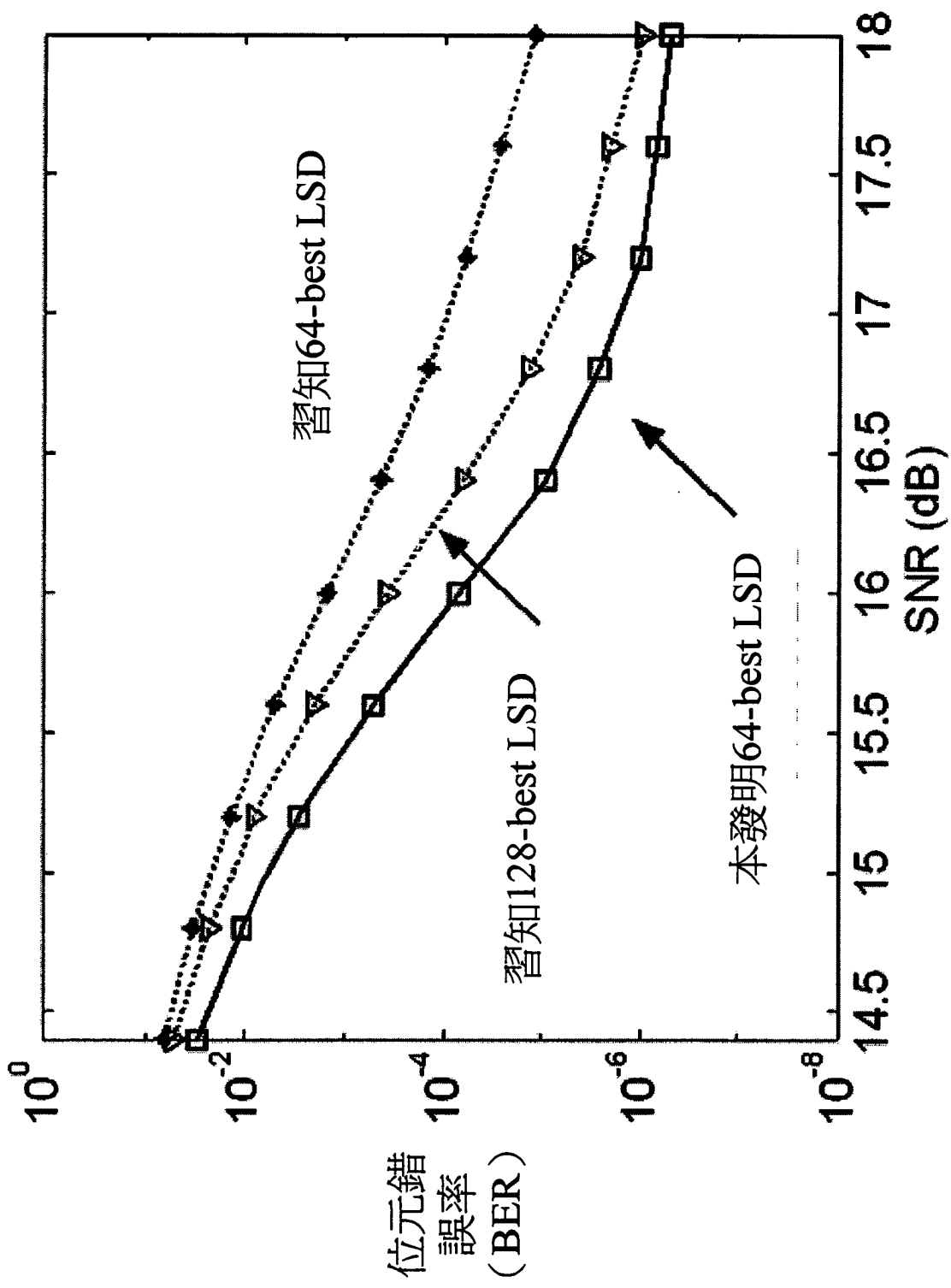


第三圖



for $\Omega_{j,0}$ ————— for $\Omega_{j,1}$ - - - - -

第四圖



第五圖