

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04L 1/04

H04K 1/10



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310119582.7

[43] 公开日 2004年8月4日

[11] 公开号 CN 1518264A

[22] 申请日 2003.12.4

[21] 申请号 200310119582.7

[30] 优先权

[32] 2003.1.9 [33] KR [31] 1454/2003

[71] 申请人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道

[72] 发明人 黄讚洙 南承勋 金映秀 郑在学

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

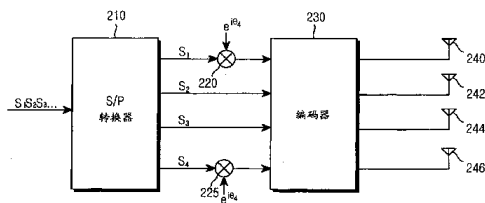
代理人 郭定辉 黄小临

权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 7 页

[54] 发明名称 使用四个发射天线的无线通信系统中的发射器与接收器

[57] 摘要

无线通信系统中的一种装置，其使用发射天线分集以防止由于衰落引起的退化。通过四个发射天线要发射的四个码元中的至少两个码元被旋转预定的相位值。编码器为四个输入码元构建四个组合，以使在每个时间间隔中四个码元的序列只可以被每一发射天线发射一次。这些组合在四个时间间隔中被发送到四个发射天线。在该四个输入码元被发送给四个发射天线前，从该四个输入码元中选出的至少两个码元被旋转预定的相位值。因此，可以取得最大的分集重数，可以降低发射时延，并且可以减弱快衰退的影响。



1. 一种在无线通信系统中用于发射复数码元的发射器, 包括:
四个发射天线; 以及
- 5 编码器, 用来为四个输入码元构建四个组合, 以使四个码元的序列在每一时间间隔中只能由每一天线发射一次, 并且将这些组合传送给这些发射天线,
- 其中从该四个输入码元中所选择的至少两个码元的每一个都被旋转预定的相位值。
- 10 2. 如权利要求 1 所述的发射器, 其中所选码元的数目为二, 并且所选码元在接收器进行解码操作时与不同的测度值相关。
3. 如权利要求 1 所述的发射器, 其中当使用 QPSK (正交相移键控) 时, 相位值在以 45° 为中心的 21° 与 69° 之间的范围内。
4. 如权利要求 1 所述的发射器, 其中当使用 8PSK (八相移相键控) 时,
- 15 相位值在 21° 与 24° 之间的范围内。
5. 如权利要求 1 所述的发射器, 其中当使用 16PSK (十六相移相键控), 相位值为 11.25° 。
6. 如权利要求 1 所述的发射器, 其中编码器进行求负与共轭操作, 并构建四个组合, 以使将在四个时间间隔中被传送给各个天线的四个码元序列中的至少一些序列相互正交。
- 20 7. 如权利要求 6 所述的发射器, 其中由四个输入码元所构建的四个组合构成具有四行四列的矩阵, 该矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & s_2 & s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -s_3 \\ s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -s_3^* & -s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

其中, s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 表示输入码元, θ_1 与 θ_4 表示分别用于码元 s_1 、 s_4 的
25 相位旋转值。

8. 如权利要求 6 所述的发射器, 其中由四个输入码元所构建的四个组合构成具有四行四列的矩阵, 该矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & x_1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

其中 x_1 、 x_2 、 x_3 与 x_4 表示包括两个相位被旋转的码元的四个码元。

9. 如权利要求 6 所述的发射器，其中由四个输入码元所构建的四个组合构成具有四行四列的矩阵，该矩阵如下：

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & e^{j\theta_2} s_2 & e^{-j\theta_3} s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ e^{-j\theta_2} s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{j\theta_3} s_3 \\ e^{j\theta_3} s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -e^{-j\theta_2} s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -e^{-j\theta_3} s_3^* & -e^{j\theta_2} s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

其中， s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 表示输入码元， θ_1 至 θ_4 分别表示用于码元 s_1 至 s_4 的相位旋转值。

10. 一种在无线通信系统中用于接收复数码元的接收器，包括：

码元排列器，用来在四个时间间隔中接收从四个发射天线向至少一个接收天线发射的信号；

信道估算器，用来估算指示从该四个发射天线到该至少一个接收天线的信道增益的四个信道增益；

第一与第二解码器，每一个都用来通过使用信道增益和由码元排列器所接收的信号，来产生与所有可能的码元子组合相关的测度值，并且检测具有最小测度值的两个码元，每个码元子组合都包括两个码元；以及

并串转换器，用来依次排列并输出由第一与第二解码器的每一个所检测的两个码元。

11. 如权利要求 10 所述的接收器，其中第一与第二解码器中的每一个都包括：

码元生成器, 用来生成所有可能的码元子组合, 每个该码元子组合都包括两个码元;

相位旋转器, 用来将从两个码元中选出的一个码元旋转预定的相位值;

- 测度计算器, 用来通过使用由码元排列器所接收的信号与信道增益, 为
5 包括相位被旋转的码元的码元子组合产生测度值; 以及
检测器, 用来通过使用所产生的测度值, 检测具有最小测度值的两个码元。

12. 如权利要求 11 所述的接收器, 其中第一解码器检测能使等式

$$|R_1 - e^{j\theta_1} s_1|^2 + |R_3 - s_3|^2 + |R_{13} - e^{j\theta_1} s_1^* s_3|^2 - |s_1|^2 |s_3|^2 \text{ 最小的两个码元 } s_1 \text{ 与 } s_3, \text{ 其中 } R_1、R_3$$

- 10 与 R_{13} 由下式给出:

$$R_1 = \left(\frac{r_1 h_1^* + r_2^* h_2 + r_3^* h_3 - r_4 h_4^*}{K} \right), R_3 = \left(\frac{r_1 h_4^* + r_2^* h_3 - r_3^* h_2 + r_4 h_1^*}{K} \right) \text{ 以及 } R_{13} = \left(\frac{-h_1 h_4^* + h_1^* h_4 - h_2^* h_3 + h_2 h_3^*}{K} \right)$$

并且 $K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$, 其中 $r_1、r_2、r_3$ 与 r_4 表示在四个时间间隔中所接收的信号, $h_1、h_2、h_3$ 与 h_4 表示四个天线的信道增益。

13. 如权利要求 11 所述的接收器, 其中第二解码器检测能使等式

- 15 $|R_2 - s_2|^2 + |R_4 - e^{j\theta_2} s_4|^2 + |R_{24} - s_2^* e^{j\theta_2} s_4|^2 - |s_2|^2 |s_4|^2$ 最小的两个码元 s_2 与 s_4 , 其中 $R_2、R_4$

与 R_{24} 由下式给出:

$$R_2 = \left(\frac{r_1 h_2^* - r_2^* h_1 + r_3^* h_4 + r_4 h_3^*}{K} \right), R_4 = \left(\frac{r_1 h_3^* - r_2^* h_4 - r_3^* h_1 - r_4 h_2^*}{K} \right) \text{ 以及 } R_{24} = \left(\frac{-h_2 h_3^* - h_1^* h_4 + h_1^* h_1 + h_3 h_2^*}{K} \right)$$

并且 $K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$, 其中 $r_1、r_2、r_3$ 与 r_4 表示在四个时间间隔中所接收的信号, $h_1、h_2、h_3$ 与 h_4 表示四个天线的信道增益。

使用四个发射天线的无线通信系统中的发射器与接收器

5 技术领域

一般地说，本发明涉及无线通信系统，具体地说，涉及一种发射器与接收器，其使用发射天线分集以防止衰落引起的退化。

背景技术

10 在无线通信系统中，时间与频率分集是减轻多径衰落效果的有效技术之一。在与天线分集有关的技术中，一项基于由 Vahid Tarokh 等人提出的时空块编码的技术扩展了由 S.M.Alamouti 提出的发射天线分集方案，从而可以使用两个或更多天线。Vahid Tarokh 等人提出并公开了“来自正交设计的时空块编码”（“Space Time Block Coding From Orthogonal Design,” IEEE
15 Transactions on Information Theory, Vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999），而 Alamouti 提出并公开了“一种用于无线通信的简单发射器分集方案”（“A Simple Transmitter Diversity Scheme For Wireless Communications,” IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998）。

20 图 1 的方框图示出使用由 Vahid Tarokh 所提出的时空块编码的现有发射器的结构。如图 1 所示，现有发射器包括 S/P（串并）变换器 110 与编码器 120。此处，发射器基于使用四个发射天线 130、132、134 与 136 的结构。

参看图 1，S/P 变换器 110 以四个输入码元为单位组合码元，并将组合码元提供给编码器 120。编码器 120 使用四个码元构建八个码元组合，并将该
25 八个码元组合在八个时间间隔内传送给四个发射天线 130、132、134 与 136。该八个码元组合可以 8×4 编码矩阵表示，如以下等式 1 所示。

等式 1

$$G_4 = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2 & s_1 & -s_4 & s_3 \\ -s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ -s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \\ s_1^* & s_2^* & s_3^* & s_4^* \\ -s_2^* & s_1^* & -s_4^* & s_3^* \\ -s_3^* & s_4^* & s_1^* & -s_2^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \end{bmatrix}$$

在以上等式 1 中， G_4 表示与待从四个发射天线发射的码元相关的编码矩阵， s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 表示待发射的四个输入码元。

如上所述，编码器 120 对四个输入码元进行求负与共轭操作，并将求负
5 与共轭操作后所生成的码元在八个时间间隔内输出给四个天线 130、132、134 与 136。此处，输出到各个天线的矩阵行的码元序列相互正交。

更具体地讲，在第一时间间隔，第一行的四个码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 被传送给四个天线 130、132、134 与 136。类似地，在最后一个时间间隔，最后一行的四个码元 $-s_4^*$ 、 $-s_3^*$ 、 s_2^* 与 s_1^* 被传送给四个天线 130、132、134 与 136。
10 换而言之，编码器 120 依次将编码矩阵的第 m 列的码元传送给第 m 个天线。

图 2 的方框图示出接收来自图 1 的发射器的信号的接收器的结构。如图 2 所示，该接收器包括多个接收天线 140、145 等等，信道估算器(channel estimator)150，多信道码元排列器 160 与检测器 170。

参看图 2，信道估算器 150 估算指示从发射天线 130 至 136 到接收天线
15 140、145 等等的信道增益的信道系数。多信道码元排列器 160 由接收天线 140、145 等等接收码元，并将所收集的码元提供给检测器 170。检测器 170 将接收码元乘以信道系数，从而产生假设码元 (hypotheses symbols)。检测器 170 使用假设码元为所有可能码元计算判决统计值 (decision statistic value)，并基于阈值检测的检测所预期的码元。

20 Alamouti 的时空块编码技术，尽管复数码元通过两个发射天线发射，但取得了与发射天线数目相对应的最大分集重数 (diversity order)，而没有降低发射速率。由 Tarokh 提出的图 1 与 2 所示的发射器与接收器通过扩展 Alamouti 的时空块编码技术，使用基于具有正交行的矩阵的时空块编码，能够取得最大分集重数。然而，由于发射器在八个时间间隔发射四个复数码元，所以只能
25 能达到一半的发射速率。因为需要八个时间间隔来完整地发射通过编码四个

输入码元所生成的四码元块，所以在快衰落情况中，由于对块码元的信道环境变化，接收性能也变差。

问题在于：当通过四个或更多天线发射 N 个复数码元时，因为需要 $2N$ 个时间间隔，所以使发射速率下降，以及由此引起等待时间(latency)增加。

5

发明内容

因此，本发明的产生是基于以上问题，并且本发明的一个目的在于提供一种发射器与接收器，其能够在使用四个发射天线的无线通信系统中达到最大分集重数与最高发射速率而不降低发射速率。

10 本发明的另一个目的在于提供一种发射器与接收器，其能够在使用四个发射天线的无线通信系统中将发射时延或延迟降到最小而不降低发射速率。

根据本发明的一个方面，以上及其他目的可以通过以下方式达到：提供一种在无线通信系统中用于发射复数码元的发射器，包括：四个发射天线；以及编码器，用来为四个输入码元构建四个组合，以使四个码元的序列在每一时间间隔中只能由每一天线发射一次，并且将这些组合传送给这些发射天线，其中从该四个输入码元中所选择的至少两个码元的每一个都被相位旋转预定的相位值。

15 根据本发明的另一方面，提供了一种在无线通信系统中用于接收复数码元的接收器，包括：码元排列器，用来在四个时间间隔中接收从四个发射天线向至少一个接收天线发射的信号；信道估算器，用来估算指示从该四个发射天线到该至少一个接收天线的信道增益的四个信道增益；第一与第二解码器，每一个都用来使用信道增益与由码元排列器所接收的信号，来产生与所有可能的码元子组合相关的测度值，并且检测具有最小测度值的两个码元，每个码元子组合都包括两个码元；以及并串转换器，用来依次排列并输出由
25 第一与第二解码器的每一个所检测的两个码元。

附图说明

本发明的以上及其他目的、特征与优点将通过下列描述与附图变得显而易见，其中：

30 图 1 的方框图示出使用时空块编码的现有发射器的结构；

图 2 的方框图示出用于接收来自图 1 所示的发射器的信号的接收器的结

构;

图 3 的方框图示出根据本发明优选实施例的使用时空块编码的发射器的结构;

5 图 4 的方框图示出用来接收来自图 3 所示的发射器的信号的接收器的结构;

图 5 的曲线图显示当根据本发明优选实施例使用 QPSK (正交相移键控) 时与两个相位值相关的最小编码增益的变化;

图 6 示出当码元被旋转 45°相位时的 QPSK 星位; 以及

10 图 7 的曲线图示出所提出的块编码技术与现有技术之间就 SNR(信噪比) 与 BER 而言 (比特错误率) 的比较;

具体实施方式

现在将参照附图详细描述本发明优选实施例的工作原理。在下列描述中, 对此处所包含的已知功能与构造的详细描述 (当其可能使本发明不清晰时) 15 从略。另外, 下列描述中的名词根据其在本发明有关的功能而定义。这些名词可能会因为用户或操作人员的意图或实践而产生变化。因此, 必须基于以下说明来确定这些名词的定义。

根据将在以下描述的本发明, 一些待发射的复数信号被相位旋转预定的相位, 从而达到最大分集重数与最高发射速率。另外, 本发明使用部分正交 20 结构, 从而简化了解码设计。下面将描述从待发射的复数码元中所选出的旋转预定相位的两个码元的结构与操作。当然, 也可以将多于两个的码元旋转预定相位, 从而达到本发明的目的。

根据本发明, 四个输入码元通过四个天线在四个时间间隔进行发射。在这种情况下, 通过下列等式 2 给出编码矩阵。

25 等式 2

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_5 & s_6 & s_7 & s_8 \\ s_9 & s_{10} & s_{11} & s_{12} \\ s_{13} & s_{14} & s_{15} & s_{16} \end{bmatrix}$$

使用 ML(最大似然)解码的接收器基于从发射天线到接收天线的信道增益, 为接收信号产生与所有可能码元相关的测度值(metric value), 然后检测具

有最小测度值的码元。

当从第 i 个发射天线到接收天线的信道增益表示为 h_i 时，相应于任意时间 t 中生成的码元组合 c_t 的测度值由以下等式 3 给出。

等式 3

$$5 \quad \sum_{t=1}^4 \left| r_t - \sum_{i=1}^4 h_i c_t \right|^2$$

在以上等式 3 中， r_t 表示在第 t 时间间隔内收到的信号， c_t 表示在第 t 时间间隔内生成的码元组合。当将上面等式 2 的编码矩阵代入上面等式 3 中，接收器在所有可能的码元组合中确定能使下面等式 4 最小的码元组合。

等式 4

$$10 \quad \begin{aligned} & |r_1 - h_1 s_1 - h_2 s_2 - h_3 s_3 - h_4 s_4|^2 + |r_2 - h_1 s_5 - h_2 s_6 - h_3 s_7 - h_4 s_8|^2 \\ & + |r_3 - h_1 s_9 - h_2 s_{10} - h_3 s_{11} - h_4 s_{12}|^2 + |r_4 - h_1 s_{13} - h_2 s_{14} - h_3 s_{15} - h_4 s_{16}|^2 \end{aligned}$$

在上面等式 4 中， r_1 、 r_2 、 r_3 与 r_4 表示由接收器上在四个时间间隔内接收的信号。另外 h_1 、 h_2 、 h_3 与 h_4 表示指示从四个发射天线到接收天线的信道增益的信道系数。

为了简化 ML 检测设计，必须将尽可能多的交换项(crossover term)从上面等式 4 中消去，并且通过发射天线发射的码元序列，即行，必须相互正交。等式 5 列举了这些交换项。

等式 5

$$\begin{aligned} & h_1 h_2^* C_1 + h_1 h_3^* C_2 + h_1 h_4^* C_3 + h_2 h_3^* C_4 + h_2 h_4^* C_5 + h_3 h_4^* C_6 = \\ & h_1 h_2^* (s_1 s_2^* + s_5 s_6^* + s_9 s_{10}^* + s_{13} s_{14}^*) + h_1 h_3^* (s_1 s_3^* + s_5 s_7^* + s_9 s_{11}^* + s_{13} s_{15}^*) + h_1 h_4^* (s_1 s_4^* + s_5 s_8^* + s_9 s_{12}^* + s_{13} s_{16}^*) \\ & + h_2 h_3^* (s_2 s_3^* + s_6 s_7^* + s_{10} s_{11}^* + s_{14} s_{15}^*) + h_2 h_4^* (s_2 s_4^* + s_6 s_8^* + s_{10} s_{12}^* + s_{14} s_{16}^*) + h_3 h_4^* (s_3 s_4^* + s_7 s_8^* + s_{11} s_{12}^* + s_{15} s_{16}^*) \end{aligned}$$

20 Tarokh 发现了以下事实：当使用 4×4 编码矩阵发射四码元序列时，在进行 ML 解码操作时不能消去所有的交换项。然而，可以从上面等式 5 中消去四项，从而可以简化 ML 解码设计。

25 另一方面，在每一时间间隔内，四个发射码元的序列必须只向每一天线传送一次，从而达到最大分集重数。在下面等式 6 中显示了四类满足上述正交条件的 4×4 编码矩阵。通过对这四个矩阵的行或列的替代(substitute)操作可以构建其他编码矩阵。

等式 6

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_2 & s_1 \\ s_4 & s_3 & s_1 & s_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_3 & s_4 & s_1 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & s_1 & s_2 & s_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_4 & s_1 & s_3 \\ s_3 & s_1 & s_4 & s_2 \\ s_4 & s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

上面等式 6 所示的编码矩阵中只有第一个矩阵能够简化 ML 解码设计的复杂度。另外，构建编码矩阵的 2×2 陪集必须能够被转换为由 Alamouti 所提出的矩阵形式，从而可以降低 ML 解码设计的复杂度。

- 5 进行求负与共轭操作，使可以相对于上面等式 6 中的第一个矩阵消去上面等式 5 中所示的四个交换项。例如，下面等式 7 给出了所产生的编码矩阵。

等式 7

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

- 10 在上面等式 7 中， x_1 、 x_2 、 x_3 与 x_4 是基于在对待发射的 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 码元进行求负与共轭操作后的任意排列的形式。

如果使用上面等式 7 所示的编码矩阵，接收器的 ML 解码器必须检测能够使下面等式 8 最小的码元。

等式 8

$$\begin{aligned} & |r_1 - h_1 x_1 - h_2 x_2 - h_3 x_3^* - h_4 x_4^*|^2 + |r_2 - h_1 x_2^* - h_2 x_1^* - h_3 x_4 + h_4 x_3|^2 \\ & + |r_3 - h_1 x_3 - h_2 x_4 + h_3 x_1^* + h_4 x_2^*|^2 + |r_4 - h_1 x_4^* + h_2 x_3^* + h_3 x_2 - h_4 x_1|^2 \end{aligned}$$

- 15 如果重新排列上面等式 8，则最小化上面等式 8 的操作与最小化下面的等式 9 与 10 的操作相同。与下面等式 9 与等式 10 相关的测度相互独立。

等式 9

$$\text{Min}(x_1, x_3) (|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2 - |x_1|^2 |x_3|^2)$$

等式 10

- 20 $\text{Min}(x_2, x_4) (|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2 - |x_2|^2 |x_4|^2)$

在上面等式 9 与 10 中， $\text{Min}(a,b)(y(a,b))$ 表示以下操作：确定“a”与“b”的值，使 $y(a,b)$ 最小。 R_1 、 R_3 、 R_{13} 、 R_2 、 R_4 与 R_{24} 由以下等式 11 定义。

等式 11

$$R_1 = \left(\frac{r_1 h_1^* + r_2^* h_2 + r_3^* h_3 - r_4 h_4^*}{K} \right), R_3 = \left(\frac{r_1 h_4^* + r_2^* h_3 - r_3^* h_2 + r_4 h_1^*}{K} \right), R_{13} = \left(\frac{-h_1 h_4^* + h_1^* h_4 - h_2^* h_3 + h_2 h_3^*}{K} \right)$$

$$R_2 = \left(\frac{r_1 h_2^* - r_2^* h_1 + r_3^* h_4 + r_4 h_3^*}{K} \right), R_4 = \left(\frac{r_1 h_3^* - r_2^* h_4 - r_3^* h_1 - r_4 h_2^*}{K} \right), R_{24} = \left(\frac{-h_2 h_3^* - h_1^* h_4 + h_4^* h_1 + h_3 h_2^*}{K} \right)$$

$$K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$$

5 使用上面等式 9 与 10, 接收器将根据上面等式 9 解码 x_1 与 x_3 对的步骤与根据上面等式 10 解码 x_2 与 x_4 对的步骤解耦。由此, 可以进一步简化接收器的结构。

当输入码元由 BPSK(二进制移相键控)生成时, 即当输入码元为实数码元时, 上述的编码矩阵总具有最大分集重数。然而, 当应用基于复数星位 (complex constellation) 的三价或更高价的码元映射方案时, 即当应用 QPSK (正交相移键控)、8PSK (八相移相键控) 或 16PSK (十六相移相键控) 时, 待发射的码元变为复数码元, 于是分集重数可能下降。根据本发明, 当将在四个码元中的两个码元中的每个都旋转预定的相位值时, 该两个码元是确定不同测度值所需的, 可以取得最大分集重数“4”。如果这样作的话, 通过四个天线发射的码元由以下等式 12 的矩阵表示。

等式 12

$$15 \quad \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & s_2 & s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -s_3 \\ s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -s_3^* & -s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

在上面等式 12 显示的编码矩阵中, 输入码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 中的 s_1 、 s_4 分别旋转相位 θ_1 与 θ_4 。可选地, 可以旋转每个都与不同测度值相关的对 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 , 或 s_2 与 s_3 。即使用来旋转两个码元的相位值相同或不同, 但总能保持最大的分集重数。

20 根据本发明, 下面等式 13 显示了一些不同的编码矩阵, 其具有最大分集重数与最小等待时间, 并能够简化 ML 解码设计。

等式 13

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & x_1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & -x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3^* & x_4^* \\ x_2^* & -x_1^* & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_4^* & -x_3^* & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

在上面等式 13 中, x_1 、 x_2 、 x_3 与 x_4 是基于在对待发射的码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 的部分或全部进行求负与共轭操作后的任意排列的形式。

根据本发明的另一实施例, 从待发射码元中选出的至少两个码元可以被 5 旋转不同的相位。在这种情况下, 可以一般化编码矩阵, 如下面等式 14 所示。

等式 14

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & e^{j\theta_2} s_2 & e^{-j\theta_3} s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ e^{-j\theta_2} s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{j\theta_3} s_3 \\ e^{j\theta_3} s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -e^{-j\theta_2} s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -e^{-j\theta_3} s_3^* & -e^{j\theta_2} s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

根据本发明的另一实施例, 编码矩阵被乘以任意酉矩阵 U 。在这种情况下, 接收器将所接收的码元乘以 U^H , 然后进行检测操作。

10 等式 15

$$U \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} x_1 & e^{j\theta_2} x_2 & e^{-j\theta_3} x_3^* & e^{-j\theta_4} x_4^* \\ e^{-j\theta_2} x_2^* & -e^{-j\theta_1} x_1^* & e^{j\theta_4} x_4 & -e^{j\theta_3} x_3 \\ e^{j\theta_3} x_3 & e^{j\theta_4} x_4 & -e^{-j\theta_1} x_1^* & -e^{-j\theta_2} x_2^* \\ e^{-j\theta_4} x_4^* & -e^{-j\theta_3} x_3^* & -e^{j\theta_2} x_2 & e^{j\theta_1} x_1 \end{bmatrix}$$

$$U^H U = I$$

在等式 15 中, U 表示任意酉矩阵。等式 14 中的编码矩阵乘以任意酉矩阵后变为另一具有与等式 14 中矩阵相同性质的编码矩阵。

使用上述编码矩阵的发射器与接收器在图 3 与 4 中示出。

15 图 3 的方框图示出根据本发明一个实施例的时空块编码的发射器的结

构。如图3所示,发射器包括S/P(串并)转换器210、相位旋转器220与225、编码器230、与四个发射天线240、242、244与246。

参看图3, S/P转换器210以一个码元块的形式组合四个输入码元,然后将组合后的码元提供给编码器230。此时,在从一个码元块中选出的两个码元 s_1 与 s_4 被输入给编码器230之前,相位旋转器220与225分别将 s_1 与 s_4 旋转预定的相位 θ_1 与 θ_4 。此处,由接收器选择这两个与不同的测度相关的码元。编码器230使用包括这两个相位被旋转的码元的一个块的码元构建四个码元组合,然后将这四个码元组合在四个时间间隔中传送给四个发射天线240至246。此处,四个码元组合中的每一个都包括四个码元。

此处,编码器230构建组合,使四个码元序列在每个时间间隔上必须只被传送到每个天线一次,由此取得最大分集重数。另外,编码器230通过对输入码元进行求负与共轭操作,以构建组合使至少一些待传送给各个天线的码元序列相互正交,即码元序列对相互正交。对从输入码元中所选出的两个码元每个都旋转预定相位的原因是:当输入码元为复数码元时,获得最大分集重数。

当待传送给四个天线的四个组合由 4×4 矩阵表示时,在编码矩阵第 m 列的码元依次被发射给第 m 个天线。换言之,在第 n 时间间隔,编码矩阵中第 n 行的码元被同时传射给四个天线。

例如,当码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 中的两个码元编码 s_1 与 s_4 分别被旋转相位 θ_1 与 θ_4 时,编码器230的输出可以由上面等式12的 4×4 矩阵表示。当使用上面等式12所示的编码矩阵时,在第一时间间隔,第一行的四个码元 $e^{j\theta_1}s_1$ 、 s_2 、 s_3^* 与 $e^{-j\theta_4}s_4^*$ 被传送给四个天线240至246,在第四时间间隔,第四行的码元 $e^{-j\theta_4}s_4^*$ 、 $-s_3^*$ 、 $-s_2$ 与 $e^{j\theta_1}s_1$ 被传送给四个天线240至246。

图4的方框图示出用来接收来自图3的发射器的信号的接收器的结构。本发明的发射器包括两个ML(最大似然)解码器340与345,这两个解码器独立运行。

参看图4,信道估算器320估算信道系数,其指示从四个发射天线240至246到接收天线310、315等等的信道增益 h_1 、 h_2 、 h_3 与 h_4 的信道系数。码元排列器330收集由接收天线310、315等等在四个时间间隔所接收的信号 r_1 、 r_2 、 r_3 与 r_4 。

如果接收器中提供了单一接收天线,则码元排列器330收集在四个时间

间隔上通过该单一接收天线接收的信号 r_1 、 r_2 、 r_3 与 r_4 。这是因为发射器在四个时间间隔中发射块码元。在另一方面，当使用两个接收天线时，码元排列器 330 将接收信号构建成矩阵形式。此处，该矩阵的一行具有在一个时间间隔内通过接收天线所接收的信号，而该矩阵的一列具有在各个时间间隔内接收的信号。时间间隔对应于所谓的码元周期，其为信号带宽的倒数。图 4 示出了多个接收天线 310、315 等等，但为方便本发明的解释，将描述使用一个接收天线的情况。

当恢复从发射器发射的四个码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 时，解码器 340 与 345 中的第一解码器 340 根据信道增益与接收信号检测码元 s_1 与 s_3 ，第二解码器以同样方式检测码元 s_2 与 s_4 。解码器 340 与 345 同时检测四个码元 s_1 、 s_2 、 s_3 与 s_4 。此处，检测到的码元由“s”表示，以区别于原来的码元。

就使用上面等式 12 的编码矩阵时的情况描述第一解码器 340 的运行，第一解码器 340 中所包含的码元生成器 350 生成 s_1 与 s_3 的所有可能的子组合，并且相位旋转器 360 通过将所生成的码元之一 s_1 旋转与发射器所使用的相同的相位 θ_1 ，而输出 $e^{j\theta_1}s_1$ 。

测度计算器 370 使用所估算的信道增益 h_1 、 h_2 、 h_3 与 h_4 以及接收信号 r_1 、 r_2 、 r_3 与 r_4 ，根据包括相位被旋转的码元的所有可能的码元子组合，计算上面的等式 9，由此产生测度值。然后，检测器 380 使用所产生的测度值，检测具有最小测度值的 s_1' 与 s_3' 。

如上所述，第一解码器 340 的运行与第二解码器 345 的运行相同。如果第一检测器 380 检测到 s_1' 与 s_3' ，第二检测器 385 检测到 s_2' 与 s_4' ，则 P/S（并串）转换器 390 依次排列检测到的信号，然后输出与 s_1' 、 s_2' 、 s_3' 与 s_4' 相关的码元组合。

图 3 与图 4 所示的发射器与接收器中用来对码元进行旋转的相位值根据误差矩阵的最小编码增益来确定。此处，每一误差矩阵都基于指示在错误地检测的码元与原来被发射的码元之间的误差矩阵，而最小编码增益表示误差矩阵所有本征值的积。

图 5 的曲线图示出当根据本发明一个实施例使用 QPSK（正交相移键控）时与两个相位值相关的最小编码增益的变化。此处，假设这两个相位值相同。水平轴表示相位值，纵轴表示误差矩阵的最小编码增益。如果相位值为 90° 的整数倍，则最小编码增益为 0。这是因为当 QPSK 星位旋转 90° 时，生成原

来的星位。

根据图 5 所示结果，当相位值在 45° 左右时，最小编码增益变平。根据本发明，相位值最好为 45° 。图 6 例示出码元被旋转了 45° 相位时的 QPSK 星位。如图 6 所示，被相位旋转的码元位于实轴或虚轴上。根据本发明的第一实施

5 例，可以例示出优选的相位旋转范围。当使用 QPSK 时，相位旋转最好基于围绕以 45° 为中心的大约 21° 与 69° 之间的相位。另外，当使用 8PSK (8 相移相键控) 时，相位旋转最好基于大约 21° 与 24° 之间的相位。还有，当使用 16PSK (16 相移相键控) 时，相位旋转最好基于大约 11.25° 的相位。然而，本发明并不局限于上述这些相位值。可以根据系统的特性设置优选的相位旋转范围。

10 图 7 的曲线图示出所提出的块编码技术与现有技术之间就 SNR(信噪比) 与 BER (比特错误率) 而言的比较。此处，标号 410 表示发送未被编码的码元时的情况，标号 420 表示使用其中由 Tarokh 所提出的行相互正交的 8×4 编码矩阵时的 (现有) 情况。标号 430 表示使用由 Alamouti 所提出的使用两个天线时的效率。标号 440 表示使用具有优化的相位 45° 的 4×4 编码矩阵时的效率。标号 450 表示使用具有未优化的相位 5° 的 4×4 编码矩阵时的效率。标号 460 表示使用与三个发射天线相关的 4×3 编码矩阵时的效率。如图 7 所示，在给定 SNR 环境中，使用根据本发明的优化相位值的块编码具有相对较低的 BER。

从上面描述可以清楚，本发明具有如下优点。

20 当使用复数星位时，本发明可以取得最大分集重数，降低发射时延，并降低快衰落的影响。根据本发明，编码矩阵的行可以相互正交，并且解码设计可以被简单地实现。

虽然参照本发明的特定优选实施例对本发明进行了展示与描述，但本领域的技术人员应该理解可以对其形式与细节进行各种修改而不脱离权利要求

25 所界定的本发明的精神与范围。因此，本发明并不局限于上述实施例，而是由其权利要求所界定。

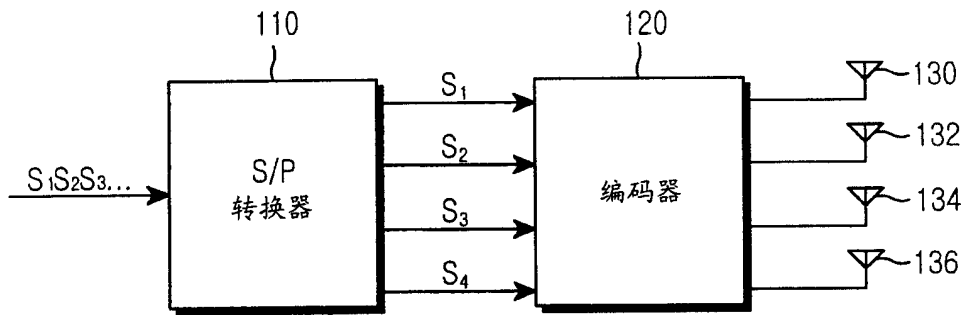


图 1

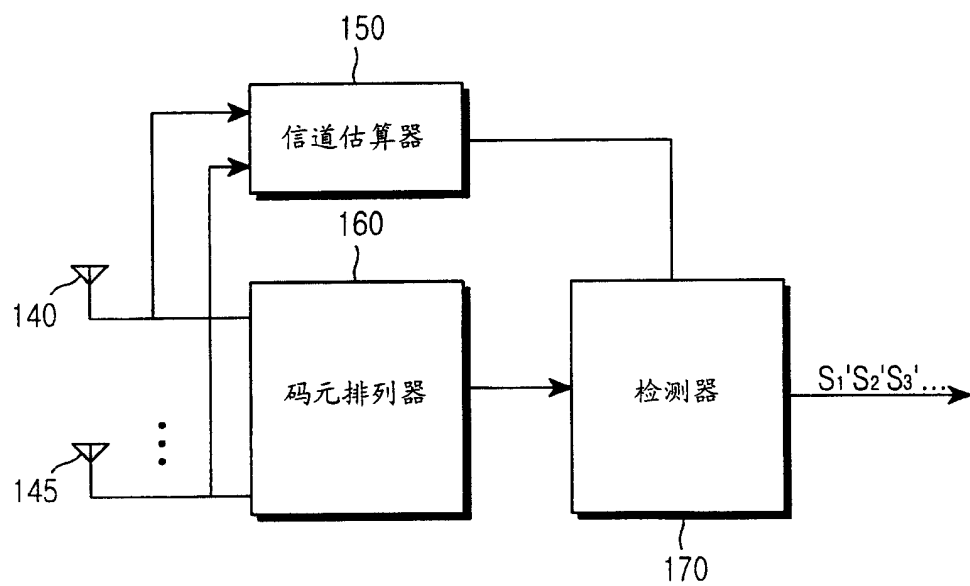


图 2

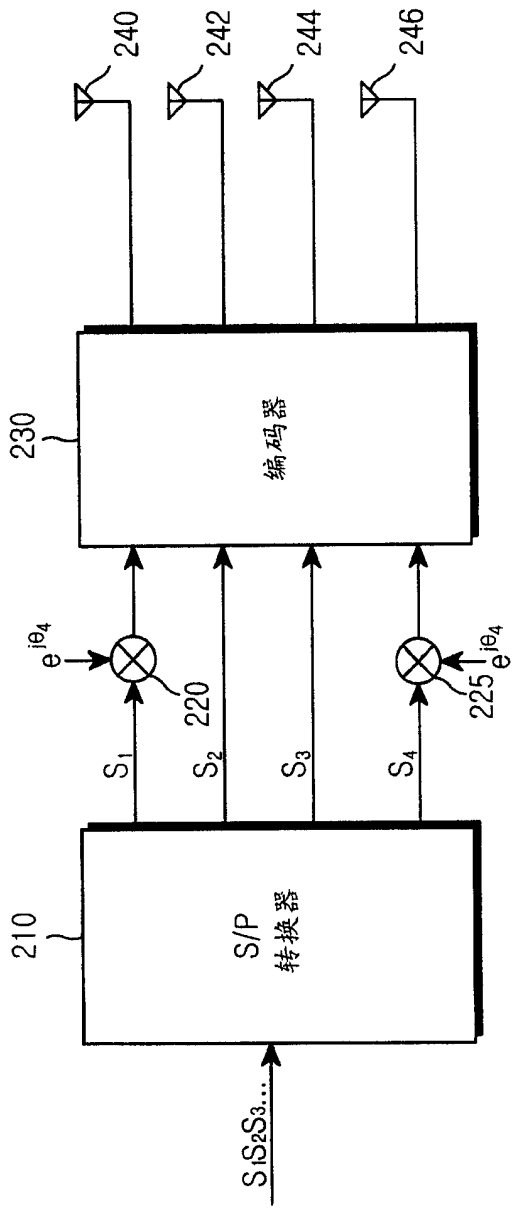


图 3

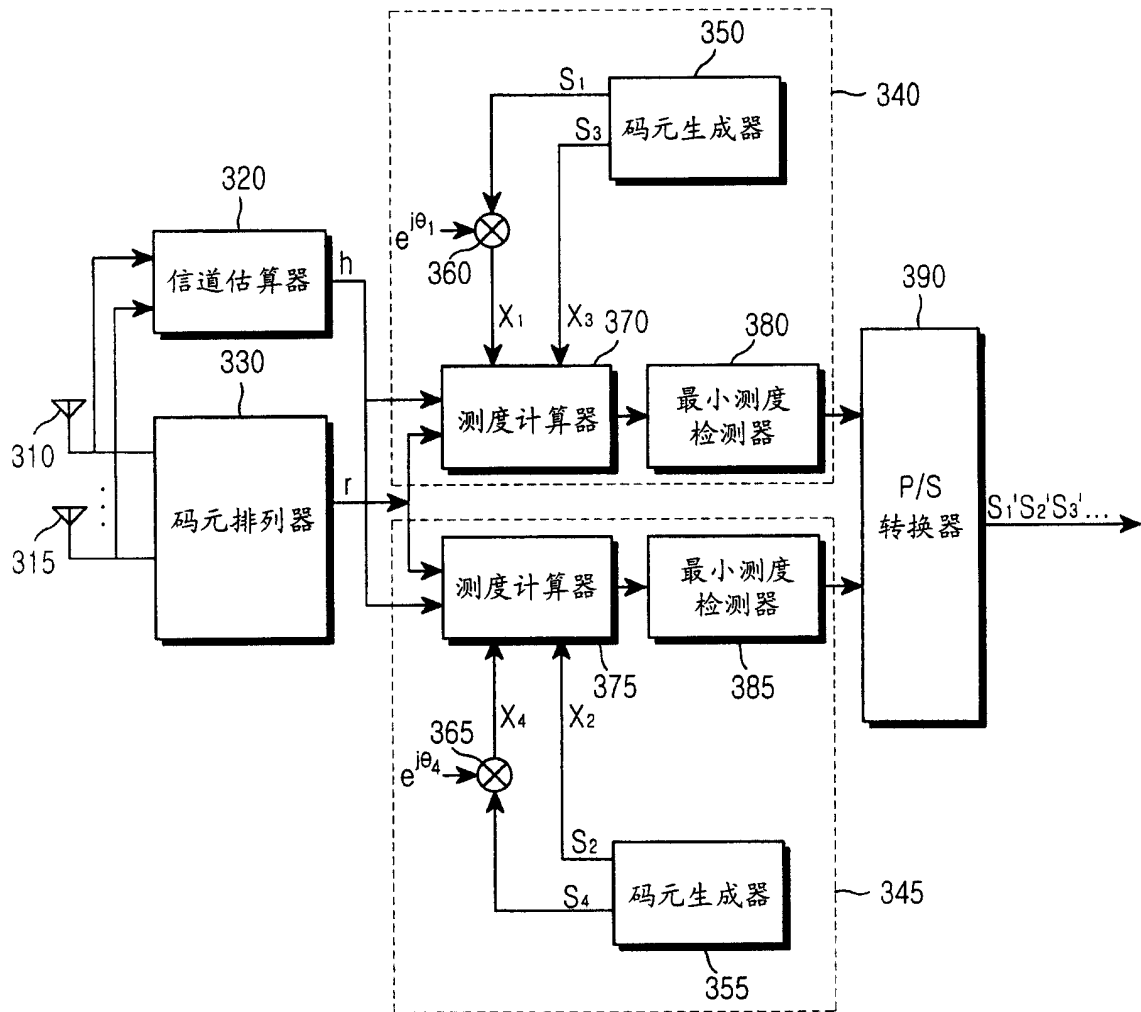


图 4

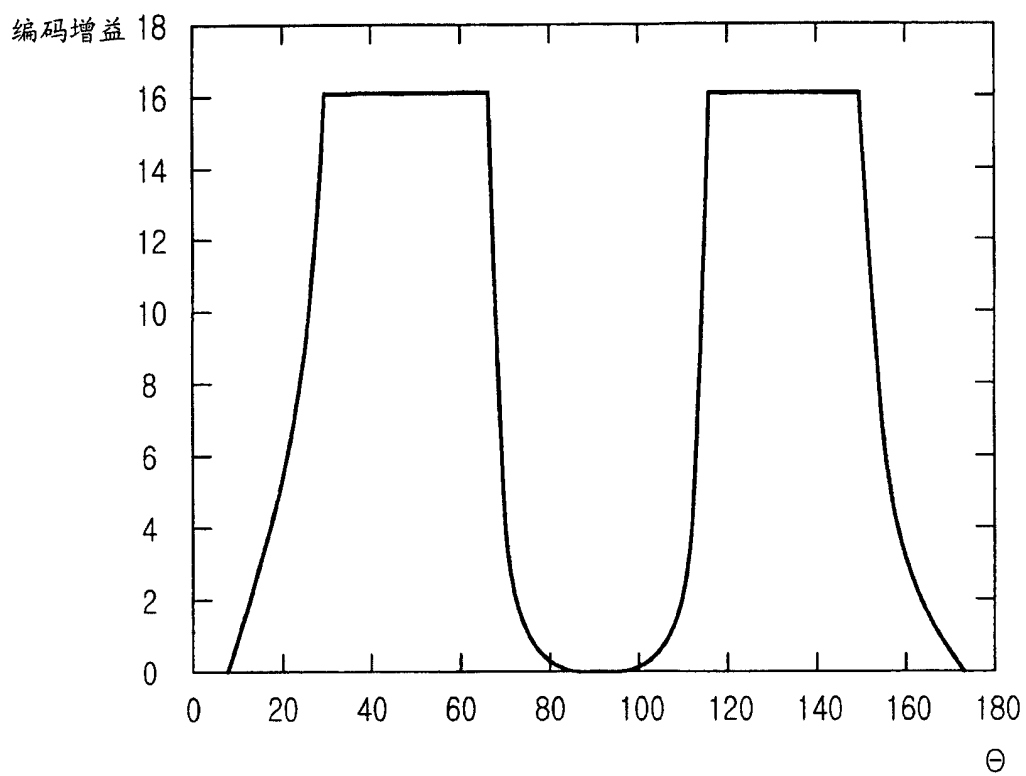


图 5

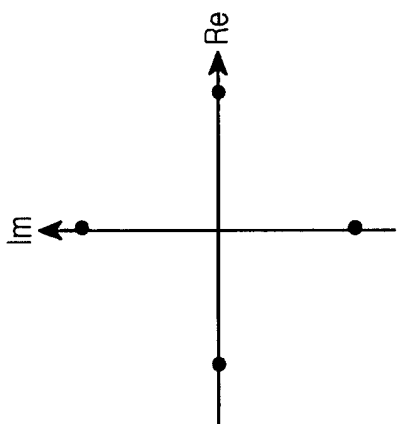
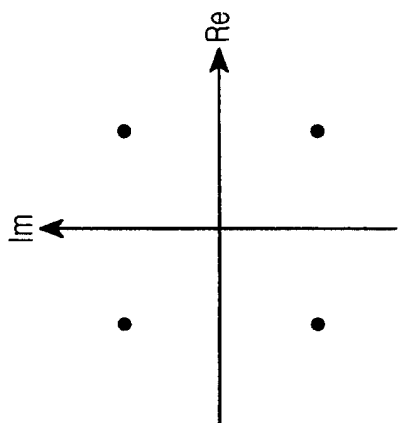


图 6



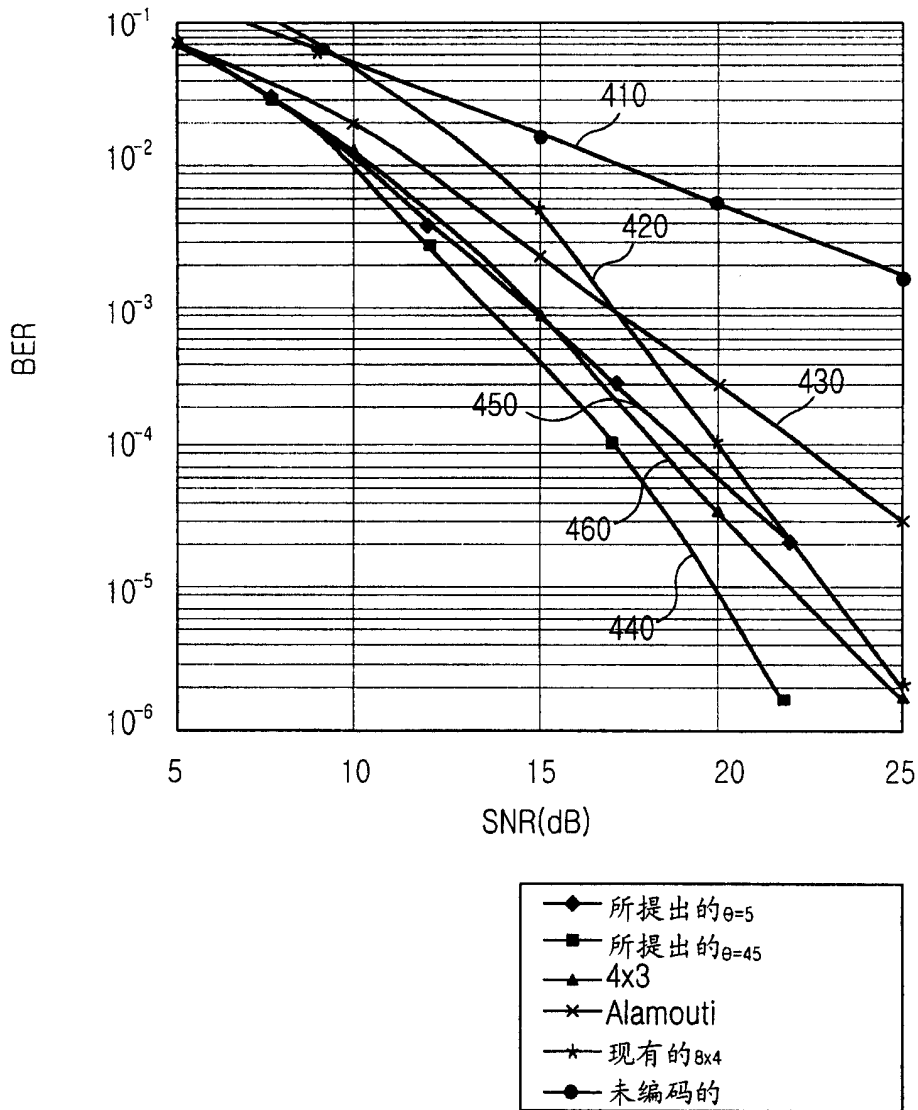


图 7