

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[ 51 ] Int. Cl<sup>7</sup>

H04H 1/00

H04L 1/00 H04L 27/26

H03M 13/00



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99805546.8

[45] 授权公告日 2004 年 2 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1139207C

[22] 申请日 1999.2.24 [21] 申请号 99805546.8

[30] 优先权

[32] 1998. 3. 27 [33] US [31] 09/049,140

[86] 国际申请 PCT/US99/04329 1999.2.24

[87] 国际公布 WO99/50981 英 1999.10.7

[85] 进入国家阶段日期 2000.10.27

[71] 专利权人 艾比奎蒂数字公司

地址 美国马里兰州

[72] 发明人 布赖恩·W·克罗格尔

罗伊·R·斯特林

丹妮斯·M·坎玛雷塔

审查员 郑 直

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商  
标事务所

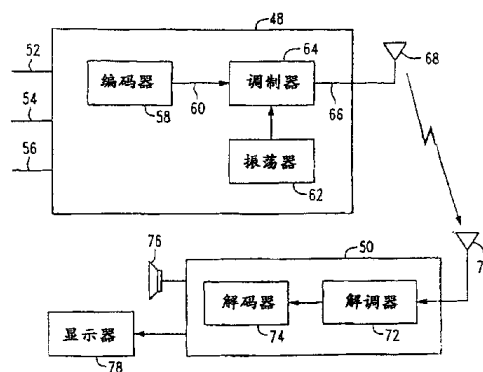
代理人 杨国旭

权利要求书 9 页 说明书 12 页 附图 4 页

[54] 发明名称 采用可缩卷积码的数字音频广播方法和设备

[57] 摘要

本发明所提出的广播方法利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码，再用得到的卷积码调制正交频分多路复用载波信号。非可缩比特由第一组载波承载而可缩比特由第二组载波承载，其中第一组载波信号比第二组载波信号较不容易受干扰影响。这些载波信号向接收机广播。接收机确定在第二组载波中是否有载波受到污染，然后删除由载波中任何确定为受到污染的载波承载的可缩比特。得到的收缩码经解码后用来恢复原来的节目内容。



ISSN 1008-4274

1.一种包括利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码的步骤的广播方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：

用所述卷积码调制多个正交频分多路复用载波信号（80），其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号（30），而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号（28），所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；以及

广播所述载波信号。

2.权利要求1的方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：

接收所述载波信号（80）；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染；

删除由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特，产生收缩码；以及

对所述收缩码解码。

3.权利要求2的方法，其特征是其中：

所述确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的步骤包括估计所述第二组载波信号中的各载波信号受到的非均匀干扰的程度的步骤。

4.权利要求1的方法，其中所述节目内容中的不同部分编码成所述可缩比特和所述非可缩比特。

5.权利要求4的方法，其中所述非可缩比特中的一个比特是一个模式控制比特。

6.权利要求4的方法，其中所述可缩比特含有音频信息而所述非可缩比特含有数据。

7.权利要求1的方法，其中所述卷积码是码率可兼容的卷积码。

8.权利要求1的方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：

接收所述载波信号（80）；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染；  
按照在所述第二组载波信号中每个相应载波信号的信噪比对所  
述可缩比特加权；以及

对所述卷积码解码。

9.权利要求 1 的方法，其中所述卷积码是系统码。

10.权利要求 1 的方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：  
在所述载波信号之间交织所述卷积码。

11.权利要求 10 的方法，其特征是其中：

所述在所述载波信号之间交织所述卷积码的步骤包括将所述卷  
积码分段的步骤。

12.权利要求 11 的方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：  
将分段的卷积码映射到所述载波信号上。

13.权利要求 1 的方法，其中所述多个正交频分多路复用载波信  
号（80）都处在一个广播信道的一个上边带内，所述方法的特征是它  
还包括下列步骤：

利用具有非可缩比特和可缩比特的互补卷积码对所述节目内容  
进一步编码；

用所述互补卷积码调制多个处在所述广播信道的一个下边带内  
的第二正交频分多路复用载波信号（80），其中所述互补卷积码的所  
述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信  
号（30），而所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个  
第二组载波信号（28），所述第一组第二载波信号比所述第二组第二  
载波信号较不容易受干扰影响；以及

广播所述多个第二载波信号。

14.一种射频发射机（48），其特征是所述射频发射机（48）包括：  
利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码的装  
置（58）；

用所述卷积码调制多个正交频分多路复用载波信号（80）的装置  
（64），其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组

载波信号(30)，而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；以及

广播所述载波信号的装置(68)。

15.权利要求14的射频发射机(48)，其特征是所述射频发射机还包括：

利用具有非可缩比特和可缩比特的互补卷积码对所述节目内容编码的装置(58)；

用所述互补卷积码调制多个第二正交频分多路复用载波信号(80)的装置(64)，其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较容易受干扰影响；

广播所述多个第二载波信号的装置(68)。

16.一种射频接收机(50)，其特征是所述射频接收机(50)包括：

接收多个用具有可缩比特和非可缩比特的卷积码调制的正交频分多路复用载波信号的装置(70)，其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号，而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号，所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的装置(86)；

删除由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特、产生收缩码的装置(86)；以及

对所述收缩码解码的装置(74)。

17.权利要求16的射频接收机(50)，其特征是所述射频接收机(50)还包括：

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的互补卷积码调制的第

二正交频分多路复用载波信号的装置(70), 其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号, 而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号, 所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较不容易受到干扰影响;

确定所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染的装置(86);

删除由所述第二组第二载波信号中任何确定为受到污染的所述载波信号承载的可缩比特、产生一个第二组收缩码的装置(86); 以及

对所述第二组收缩码和所述互补卷积码解码的装置(74)。

18.一种射频接收机(48), 其特征是所述射频接收机(48)包括:

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的卷积码调制的正交频分多路复用载波信号的装置(70), 其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号, 而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号, 所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响;

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的装置(86);

对由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权、产生加权卷积码的装置(86); 以及

对所述加权卷积码解码的装置(74)。

19.权利要求18的射频接收机(50), 其特征是所述射频接收机(50)还包括:

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的互补卷积码调制的第二正交频分多路复用载波信号的装置(70), 其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号, 而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号, 所述第一组第二载波信号比所述第二

组第二载波信号较不容易受干扰影响;

确定在所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染的装置(86);

对由所述第二组第二载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权、产生一个第二组收缩码的装置(86); 以及对所述第二组收缩码和所述互补卷积码解码的装置(74)。

20.一种接收射频信号的方法,其特征是所述方法包括下列步骤:

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的卷积码调制的正交频分多路复用载波信号(80),其中所述非可缩码用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号(30),而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号(28),所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响;

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染;

删除由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特,产生收缩码;以及

对所述收缩码解码。

21.权利要求20的接收射频信号的方法,其特征是所述方法还包括下列步骤:

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的互补卷积码调制的第二正交频分多路复用载波信号(80),其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号(30),而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号(28),所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较不容易受干扰影响;

确定在所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染;

删除由所述第二组第二载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特,产生一个第二组收缩码;以及

对所述第二组收缩码和所述互补卷积码解码。

22.一种接收射频信号的方法,其特征是所述方法包括下列步骤:

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的卷积码调制的正交频分多路复用载波信号(80)，其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染；

对由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权，产生加权卷积码；以及

对所述加权卷积码解码。

23.权利要求 22 的接收射频信号的方法，其特征是所述方法还包括下列步骤：

接收多个用含有可缩比特和非可缩比特的互补卷积码调制的第二正交频分多路复用载波信号(80)，其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较不容易受干扰影响；

确定在所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染；

对由所述第二组第二载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权，产生一个第二组加权卷积码；以及

对所述第二组加权卷积码和所述互补卷积码解码。

24.权利要求 22 的方法，其特征是其中：

所述确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的步骤包括确定承载所述可缩比特的每个载波信号的信噪比的步骤；以及

所述对由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权的步骤包括根据所述信噪比对所述可缩比特加权的步骤。

25.一种包括利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内

容编码的装置的广播系统，其特征是所述广播系统包括：

其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号（30），而所述可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号（28），所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；

广播所述载波信号的装置；

接收所述载波信号（80）的装置；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的装置；

删除由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特、产生收缩码的装置；以及

对所述卷积码解码的装置。

26.一种包括利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码的装置的广播系统，其特征是所述广播系统包括：

用所述卷积码调制多个第一正交频分多路复用载波信号（80）的装置，其中所述卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第一载波信号中的一个第一组载波信号（30），而所述卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第一载波信号中的一个第二组载波信号（28），所述第一组第一载波信号比所述第二组第一载波信号较不容易受干扰影响，所述装置还用具有非可缩比特和可缩比特的互补卷积码调制多个第二正交频分多路复用载波信号，其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号，而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第二组载波信号，所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较不容易受干扰影响；

广播所述载波信号的装置；

接收所述载波信号的装置；

确定在所述第二组第一载波信号和所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染的装置；

删除由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的



可缩比特、产生收缩码的装置；以及

对所述卷积码和所述互补卷积码解码的装置。

27.一种包括利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码的装置的广播系统，其特征是所述广播系统包括：

用所述卷积码调制多个正交频分多路复用载波信号(80)的装置，其中所述非可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而可缩比特用于调制所述载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组载波信号比所述第二组载波信号较不容易受干扰影响；

广播所述载波信号的装置；

接收所述载波信号(80)的装置；

确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的装置；

对由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权、产生收缩码的装置；以及

对所述卷积码解码的装置。

28.权利要求 27 的广播系统，其特征是其中：

所述确定在所述第二组载波信号中是否有载波信号受到污染的装置包括测量在所述第二组载波信号中各载波信号的信噪比。

29.一种包括利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容编码的装置的广播系统，其特征是所述广播系统包括：

用所述卷积码调制多个第一正交频分多路复用载波信号(80)的装置，其中所述卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第一载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而所述卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第一载波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组第一载波信号比所述第二组第一载波信号较不容易受干扰影响，所述装置还用具有非可缩比特和可缩比特的互补卷积码调制多个第二正交频分多路复用载波信号(80)，其中所述互补卷积码的所述非可缩比特用于调制所述多个第二载波信号中的一个第一组载波信号(30)，而所述互补卷积码的所述可缩比特用于调制所述多个第二载

波信号中的一个第二组载波信号(28)，所述第一组第二载波信号比所述第二组第二载波信号较不容易受干扰影响；

广播所述载波信号的装置；

接收所述载波信号(80)的装置；

确定在所述第二组第一载波信号和所述第二组第二载波信号中是否有载波信号受到污染的装置；

对由所述载波信号中任何确定为受到污染的载波信号承载的可缩比特加权的装置、产生收缩码的装置；以及

对所述卷积码和所述互补卷积码解码的装置。

## 采用可缩卷积码的数字音频广播方法和设备

本发明与无线电广播技术有关，具体地说，与调频（FM）信道带内（In-Band-On-Channel, IBOC）数字音频广播（DAB）中的前向纠错技术以及采用这种前向纠错技术的广播系统有关。

数字音频广播是一种提供优于现有的模拟广播格式的数字音质音频的手段。AM 和 FM IBOC DAB 能以一种数字调制的信号与当前广播的模拟信号并存的混合格式发送。IBOC 不要求指配新的频谱，因为每个 DAB 信号都在一个指配给现有信道的频谱范围内发送。IBOC 支持有效地利用频谱，使广播机构可以为听众提供数字质量的音频广播。采用混合调制格式的 FM IBOC 广播系统已是一些美国专利所涉及的对象，如专利 No. 5,465,396; 5,315,583; 5,278,844 和 5,278,826。此外，共同受理美国专利 No. 5,956,624 揭示了一种 FM IBOC DAB 系统。

对于 IBOC DAB 业已提出了一种正交频分多路复用（OFDM）技术。OFDM 信号包括一些正交分隔的载波，都以共同的码元率调制。矩形脉冲码元（例如 BPSK, QPSK, 8PSK 或 QAM）的频率间隔等于码元率。对于 FM/DAB 信号的 IBOC 传输来说，OFDM 副载波的冗余集设置在共存的模拟 FM 载波两侧的 100KHz 至 200KHz 左右内。DAB 功率（上、下边带）定为比 FM 信号低 25dB。DAB 信号的电平和谱占用设置成不对它的 FM 主机有太大的干扰，同时又为 DAB 副载波提供适当的信噪比（SNR）。离 FM 载波 $\pm 300\text{KHz}$ 的第一邻近信号可能要污染 DAB 信号。然而，在一个电台的覆盖区域内的任何特定位置，不大会两个第一邻近信号都与 DAB 发生干扰。因此，上、下 DAB 边带承载有相同的冗余信息，这样只需要一个边带就可以传送信息。OFDM 的固有优点包括在有多路径干扰下工作稳定，以及能容忍非

斯短期噪声或由于选择性衰落而引起的凹口。

前向纠错 (FEC) 和交织改善了在一个受污染的信道上传输数字信息的可靠性。业已有人提出采用收缩码的前向纠错技术。例如, 美国专利 No. 5,197,061 提出将收缩技术用于不同的防错级别。还可参见 S.Kallel 的“互补收缩卷积(CPC)编码器及其应用”(“Complamentarg Punctured convolution (CPC)Coder and Their Applications,” IEEE Trans. Comm., Vol. 43, No.6, pp. 2005-2009, June 1995.)。为自动重发请求 (ARQ) 方式也已开发了互补对卷积 (CPC) FEC 编码技术, 重发用互补码编码, 而不是简单的重发同样的编码序列。CPC 码可以按照例如下列已发表的收缩技术构成: Y. Yasuda, K. Kashiki, Y. Hirata 的“用于软判决 Viterbi 解码的高比率收缩卷积码”(“High-Rate Punctured Convolutional Codes for Soft Decision Viterbi Decoding,” IEEE Trans. Comm., Vol. 32. #3, Mar. 1984), J. Hagenauer 的“码率可兼容的收缩卷积码 (RCPC 码) 及其应用”(“Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC Codes) and Their Applications,” IEEE Trans. Comm., Vol. 36, No.4, pp. 389-400, April, 1988)。

已知, 用 Viterbi 解码周期性地收缩卷积码中的一些比特是产生较高码率的卷积码的一项有效措施。码率可兼容的收缩卷积 (RCPC) 码设想为以实际可行的有效方式根据信道容量调整编码增益和比特能量的机制, 参见上面列出的 Hagenauer 的译文或 M.Kim 的“系统收缩卷积码”(“On Systematic Punctured Convolutional Codes,” IEEE Trans. Comm., Vol 45, No.2, pp. 133-139, Feb. 1997)。这在点对点 (非广播) 自动重发请求 (ARQ) 系统中是有用的, 一个预期接收机估计出它的信号与噪声的功率比 ( $E_b/N_0$ ) 后将它所希望的通知发送方 (通过返回通路), 以便增大或减小每个比特的能量 ( $E_b$ ) 和编码增益。发送方通过调整码率  $R$  予以响应。这是用收缩卷积码来实现的, 所有的比特通常都采用例如“工业标准”  $K = 7$ 、 $R = 1/2$  码率编码传输。假设在这种非收缩情况下达到最大的  $E_b$  和编码增益。为了改善频谱和/

或功率的利用率，发送方可以有选择地省去（例如按接收方的请求收缩）编码比特中的一些比特，不予传输，从而得到较高码率的码。这种收缩相对于原来的非收缩码来说具有降低有效  $E_b$  和编码增益的作用，然而这种收缩码仍可以足够顺利地在这个信道上传送信息，但效率更高。

为了在给定的码率获得最佳的性能，需要以特定的模式对编码序列中的比特进行收缩。不幸的是，对于高码率的码的收缩模式不包括所有对低码率的码要收缩掉的比特。Haganauer 证明对于他的 RCPC 码的收缩模式可以包括所有对低码率的码的收缩，只是与最佳的相比略有损失，但是是码率可兼容的收缩模式。因此，可以通过收缩掉同一模式中更多的可缩比特直接根据原  $R=1/2$  的码提高码率。较高码率的码是较低码率的码的比特子集。

VHF FM 频带的 IBOC DAB 信道内的干扰环境通常是使一个 DAB 信道分成以下两个副信道子集：(a) 由频谱中较不受其他电台信号干扰的区域构成的可靠部分，其特征是受热噪声或背景噪声限制，受多路径衰落影响；(b) 由频谱中在一些间断性的时间间隔内受到严重干扰的区域构成的不可靠部分，干扰污染在这些时间间隔内发送的比特，而在其他时间（或对于大多数地理位置）类似于上述可靠部分。AM 频带的 IBOC DAB 可以类似地表征。

现有技术在这种环境下利用两种基本策略之一发送数据：(1) 简单地不用信道的不可靠部分，因此将不可靠部分中不受污染而可以利用的那些时间浪费掉了；(2) 利用码率充分低的码（和适当提高编码比特率），保证误码率（BER）满足要求，将增加的带宽均匀地散布到频谱的可靠和不可靠这两部分。这通过均匀地将比特分配给 OFDM 系统中的各 OFDM 载波或增大单载波系统的原始比特率来实现。这利用了信道的不可靠部分，但是也招致在信道的不可靠部分有严重干扰时出现 BER 恶化（甚至是破坏性的）。第二种策略是否优于第一种取决于干扰的大小。

本发明通过特殊的编码和差错控制来对抗非均匀干扰，使性能更

为稳定可靠。本发明的广播方法利用具有非可缩比特和可缩比特的卷积码对节目内容进行编码后，用得到的卷积码调制正交频分多路复用车载信号。非可缩比特用第一组载波承载，可缩比特用第二组载波承载，而第一组载波信号与第二组载波信号相比较不易受干扰影响。这些载波信号广播给接收机，由接收机确定第二组内的载波是否被污染和删除确定为受污染的任何载波承载的可缩比特。这样便产生了收缩码，通过解码即可恢复原来的节目内容。

本发明还涉及按照本发明的方法进行工作的发射机和接收机。本发明提供了一种 FEC 编码技术，可以在采用正交频分多路复用的信道带内数字音频广播系统的干扰环境下降低误码率。这降低了由于正交频分多路复用广播系统内的非均匀干扰引起的干扰影响。

在本说明的附图中：

图 1 为广播 DAB 信号的主 FM 无线电台的频谱的示意图，图中示出了第一邻信道干扰；

图 2 为  $K = 7$ 、 $R = 1/2$  的卷积编码器的示意图；

图 3 为按本发明的方法进行工作的发射机和接收机的简化功能方框图；

图 4 为示出比特通过接收机、解交织器和前向纠错解码器时受到的映射和处理的功能方框图；

图 5 为  $K = 7$ 、 $R = 1/3$  的卷积编码器的示意图；以及

图 6 和 6a 为可用于本发明的分组码阵列的示意图。

本发明的优选实施例可具体用于信道带内 (IBOC) 数字音频广播 (DAB) 系统，离主 FM 载波最远的外侧 OFDM 副载波有时要受到来自第一邻近信道可能还有第二邻近信道的破坏性干扰。典型的 FM 频带 DAB 情况下的干扰环境示于图 1 (未按比例)。图 1 是可以采用本发明的混合 FM IBOC DAB 信号 10 的信号分量的频率分配 (频谱格局) 和相对功率谱密度的示意图。这种混合格式包括传统的 FM 立体声模拟信号 12，其功率谱密度呈三角形 14，大致处在 FM 频带信道 18 的中央或中央频带部分 16。典型的模拟 FM 广播信号的功率谱密度

接近三角形，从中心频率以  $-0.35\text{dB/kHz}$  的斜率下降。多个数字调制的均匀分隔的副载波位于模拟 FM 信号两侧的上边带 20 和下边带 22 内，与模拟 FM 信号同时发送。

来自相邻 FM 信道 24 的信号（即第一邻近 FM 信号），如果有的话，将集中在离本信道中心的  $200\text{kHz}$  处。带内的和第一邻近 FM 台的载波在频谱上与 DAB 信道交叠，平均来说，这是由于它们各自载波扫入和扫出 DAB 信道引起的。这种可能的频谱交叠可以导致处在频谱受交叠部分的正交频分多路复用载波受到污染。由此可见，处在上边带两端附近（即区域 26 和 28）的载波比处在上边带中央附近（即区域 30）的载波更容易受到干扰。下边带也会受到由于模拟 FM 信号和本信道另一侧的第一邻近 FM 的类似的谱交叠干扰。即使是处于受干扰区域的载波也可以用来改善整个信道。在混合系统中，每个边带内这些 OFDM 调制的副载波的总 DAB 功率设置为比它的主模拟 FM 功率低  $25\text{dB}$  左右。

本发明的方法利用一种可编码，将可缩比特与非可缩比特分开，将可缩比特置于信道的不可靠部分。可编码用了一些称为可缩比特的比特，这些比特如果删去的话仍可以恢复编码数据，只是纠错能力比原来的未缩减的码低了一些。另一些比特称为非可缩比特，删除这样的比特就要损失很大的编码增益。

可缩比特与非可缩分开，置于信道的不可靠部分。因此，在接收机内删除了这些比特，整个信道的性能不会比信道的可靠部分本身更差。而在不删除这些比特时，这些比特可以降低信道的可靠部分的 BER，从而使整个信道的性能高于只用信道的可靠部分的性能。实际上，这种方案可以动态地利用信道不可靠部分的清晰时段来改善整个信道的 BER 性能，而在受干扰时段不会使 BER 增大而恶化。

上述技术可以使接收机在确定有明显干扰污染根据某些 OFDM 载波得出的软判决码元时删除这些码元。这里所采用的特定 FEC 编码技术开发了这种可以收缩掉或删除某些特定比特而不会使编码增益有多少损失的能力。

以上参考 Hagenauer 论文的 RCPC 编码技术可以用于副信道受到的干扰是非均匀但可通过在任何接收机对非均匀（有色）干扰或噪声的估计预测的 OFDM 广播信道。在这种情况下，发射机广播全部编码比特（不加缩减）。然而，这些卷积编码比特安排成可缩比特在一些最容易受污染的 OFDM 副载波上发送，而非可缩比特在一些通常最可靠的副载波上发送。任何接收机可以估计各自的干扰情况，特别是对于那些最容易受干扰的副载波。如果接收机估计出这些副载波受到相当大的干扰，就会决定删除根据这些受污染的副载波得出的比特再进行解码。这种删除包括将删除的比特的软判决值都设置为零。由于对可缩比特执行删除，因此达到了与收缩同样的效果，但并不涉及发射机。利用事先的干扰估计信息在接收机有选择地删除被污染比特可以显著地改善性能。OFDM 传输就可以利用通过对非均匀（有色）干扰估计得到的知识自适应地改善 FEC 解码器性能这方面来说是独特的。

根据这种想法可以作出进一步改进或各种变化。通过适当地对可缩比特进行“加权”而不是删除成零可以在性能上获得某些改善。与现有技术的在发射机缩去比特的非广播系统相比，这在针对广播系统的本发明中是可能的。理想情况是，对根据每个副载波得出的软比特加权的适当权系数应正比于本副载波的信噪比（SNR）（假设是可加高斯白噪声 AWGN）。然而，在动态非高斯干扰环境中估计误差会降低这种技术可能获得的效益。由于“广播机构”可能希望将可缩比特用于某种带内信令，从而增加了比特使用的灵活性。在这种情况下，副载波中某些承载可缩比特的就会承载其他数据。这种格式上的修改必需向所有的接收机广播（例如通过这种消息格式内的一个模式控制比特），使得接收机在解码时可以缩去这些比特。显然，这种可选方案会降低所得到的收缩数据的稳定性，然而广播机构必需折衷考虑。

特种可缩码包括某些系统码。系统码包括作为输出序列部分的输入数据序列再加上附加的奇偶校验比特。显然，采用系统码，所有的奇偶校验比特可以都删除，而编码数据的误码率（BER）不会比完全不用编码的差。但是，在没有全部缩去奇偶校验比特时，总的码具有



编码增益，BER 性能要比完全不用编码的好。

虽然众所周知非系统码对于低码率情况（例如  $R = 1/2$ ）性能比系统码好，但已证明高码率的系统码呈现具有比高码率的非系统收缩卷积码好的性能（见以上引用的 Kim 的论文）。系统码的特征是有一个是信息序列输入的一个拷贝的输出。系统反馈编码器可由一个具有以二元多项式除法操作实现反馈的非系统前馈编码器的等距特性（即相同的纠错性能）的非系统前馈编码器构成。

图 2 示出了码率为  $1/2$  的卷积编码器的示意图。移位寄存器 32 接收加在线 34 上的输入数据比特。这些输入数据比特以速率  $B$  接收，表示所要发送的节目内容。这种节目内容可以包括例如表示谈话或音乐信号的音频信息和/或数据。一些抽头将移位寄存器内的信息比特引入模 2 加法器 36 或 38。所选取的这些抽头只是例示性的。一个带有适当抽头点的 7 级移位寄存器可以用于  $K = 7$ 、 $R = 1/2$  的码。模 2 加法器 36 在线 40 上的输出含有可缩编码比特，而模 2 加法器 38 在线 42 上的输出含有非可缩比特。开关 44 以  $2B$  的速率往复转接，从而得到码率为  $1/2$  的码。这样就在线 46 上产生比特率为  $2B$  的一系列编码输出比特。

图 3 为发射机 48 和接收机 50 的简化方框图。发射机接收节目内容，例如包括在线 52 和 54 上的立体声信号和线 56 上的数据。节目内容由编码器 58 编码，在线 60 上产生可缩码。可缩码包括一系列可缩和非可缩比特。振荡器 62 产生的多个载波由调制器 64 用码的比特调制，在线 66 上产生正交频分多路复用信号，通过天线 68 向接收机发送。接收机天线 70 接收到 OFDM 载波后，由解调器 72 从 OFDM 载波中提取代码，再由解码器 74 将代码变换回节目内容，送至诸如扬声器 76 或显示器 78 那样的输出装置。

图 4 为示出各比特通过接收机中按照本发明的方法工作的部分进行映射和处理的详细功能方框图。多个 OFDM 载波 80 由接收机电路 84 接收，变换成相应比特流，加到线 82 上。电路 84 包括数字化装置、载波同步装置、码元同步装置和匹配滤波器，都按照众所周知的技术

进行工作, 在线 82 上产生相应比特流。编辑器 86 对比特进行检测, 按照用来发送这些比特的载波的干扰电平删除一定的可缩比特 (或减小这些比特的权系数), 在线 88 上产生经编辑的各比特流。方框 90 表示将各比特流根据载波重新定位后分送至几个解交织器 92、94 和 96。方框 98 表示将一个同步字分配给一些最可靠的载波。这些解交织器的输出多路合并成单个比特流, 如方框 100 所示。Viterbi 解码器 102 对这单个比特流进行解码。在方框 104, 加上标定的延迟, 以便混合成 FM 数字音频广播信号。然后, 经延迟的信号送至调制解调器去帧方框 106, 进行进一步处理。软判决 Viterbi 解码采用 (接近) 最佳的软判决加权, 对差分检测的 QPSK 副载波码元进行最大比值合并 (MRC), 使信道损失最小。

一种能在本发明中使用的 CPC 码可以根据一种遵从工业标准的 1/3 码率卷积码构成。图 5 示出了 1/3 码率卷积编码器的示意图。移位寄存器 108 接收加在线 110 上的输入数据比特。这些输入数据比特以速率 B 接收, 表示所要发送的节目内容。这种节目内容可以包括例如表示谈话或音乐信号的音频信息和/或数据。一些抽头将移位寄存器内的信息比特引入模 2 加法器 112、114 或 116。所选取的这些抽头只是示例性的。一个带有适当抽头点的 7 级移位寄存器可用于  $K=7$ 、 $R=1/3$  的码。这些模 2 加法器的输出含有可缩编码比特和非可缩比特。开关以  $3B$  的速率往复转接, 从而得到码率为 1/3 的码。这样就在线 120 上产生比特率为  $3B$  的一系列编码输出比特。

图 5 的 1/3 码率卷积编码器可以看作形成三个比特流 ( $G1$ 、 $G2$  和  $G3$ ) 的装置, 每个比特流的比特率与输入的相同。这三个比特流合并成  $R=1/3$  的编码输出序列。为了建立互补码对, 例如将输出码比特中的一个子集指配给下 DAB 边带, 而将一个不同的 (补) 子集指配给上 DAB 边带。每个子集必需含有至少与信息输入率相同的比特率, 再加上一些提供某些编码增益的附加比特。

一种收缩模式矩阵的编码比特屏蔽示为:

$$\begin{Bmatrix} G1_0 & G1_1 & G1_2 & G1_3 \\ G2_0 & G2_1 & G2_2 & G2_3 \\ G3_0 & G3_1 & G3_2 & G3_3 \end{Bmatrix}$$

这个收缩模式矩阵表示每组 4 个信息比特的编码器输出码元。因此，这些输出码元用模 4 标识，作为附标。在这个屏蔽矩阵的 12 个位置中的任何位置上，逻辑 1 表示用处在这个位置的比特。相反，逻辑 0 表示不用这个比特。

这种比特模式可以根据已知的最佳  $R = 4/5$  收缩模式或从 RCPC 码模式选取。然而，一个边带以这种方式限定后，在为相对的边带选取比特上就没有多少灵活的余地，因为这些比特应从缩去的（补）比特中选取，以便合并后形成基码时可以获得最大的编码增益。有幸的是，分析和计算机模拟表明确实存在良好的互补码。例如，如果发生器连接用标准的八进制记数法表示，在  $G1 = 133$ 、 $G2 = 171$  和  $G3 = 165$  时，以上所示的比特模式可以具有非常好的性能。

一对互补收缩模式，其中之一用于上 DAB 边带，而另一个用于下 DAB 边带，可以表示为：

$$\text{PPL} = \begin{Bmatrix} 0110 \\ 1001 \\ 0010 \end{Bmatrix} \quad \text{PPU} = \begin{Bmatrix} 1001 \\ 0110 \\ 1000 \end{Bmatrix}$$

显然，这两个收缩模式限定了这对  $4/5$  码率的码。这对互补的  $4/5$  码率的码可以合并成  $2/5$  码率的基码，情况如下。每个  $4/5$  码率的码具有自由距离  $df=4$ ，信息差错重  $Cd=10$ 。合并后的  $2/5$  码率的码达到  $df=11$  和  $Cd=8$ 。注意，在这种 CPC 码中只用了一半的  $G3$  的比特。原  $2/5$  码的收缩模式为：

$$\text{PPL} + \text{PPU} = \begin{Bmatrix} 1111 \\ 1111 \\ 1010 \end{Bmatrix}$$

或者，也可以发送经收缩的  $2/5$  码率的码的比特，得到一对  $df=6$  的  $2/3$  码率的 CPC 码，示为：

$$\mathbf{PPLop} = \begin{Bmatrix} 0110 \\ 1001 \\ 0110 \end{Bmatrix} \quad \mathbf{PPUop} = \begin{Bmatrix} 1001 \\ 0110 \\ 1001 \end{Bmatrix}$$

当然，基码是  $df=14$  的未收缩的  $1/3$  码率的码。每个边带上的  $4/5$  码率的码需要 25% 的附加比特。将比特分配给各边带的一种方法可以表示为：

$$\begin{array}{cc} \text{下边带} & \text{上边带} \\ G_3 G_2 G_1 G_0 & G_1 G_3 G_2 G_0 \end{array}$$

以上表示式示出了编码比特的相对谱位置。这些谱位置在通过将交织器信道化成一些分别映射到每个边带上相应副载波的段进行交织后得到保持。大多数可消耗的代码比特置于外侧 OFDM 副载波上。可消耗比特对经合并的码的自由距离或编码增益没有多少影响。任选的  $G_3$  比特可以置于最靠近主 FM 频谱的内侧副载波上。分析和模拟表明这样划分交织器在典型的干扰环境下要优于随机交织。

利用 CPC 码技术和在时间上交织可以进一步改善性能。可以建立一个 255 行 456 列的交织器阵列来容纳卷积编码器产生的比特。图 6 和 6a 示出了这种交织器阵列的示意图。交织器阵列 122 的每一行容纳需在一个并行 OFDM 码元内调制的代码比特。第 256 行为调制解调器帧同步字保留。每对列指配给 228 个副载波之一进行同相和正交 QPSK 调制。在交织器外的附加副载波可以用来传输领示或其他数据。代码比特以特定模式写入交织器阵列。交织器阵列逐行读出，构成了并行 OFDM 码元的数据源。交织器的段指配可以示为：

$$\mathbf{panition\_assignment} = \begin{Bmatrix} 7 & 3 & 4 & 8 \\ 1 & 9 & 10 & 2 \\ 11 & 6 & 0 & 5 \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{partitions} = (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ \text{FM} \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11)$$

交织器可以通过首先将收缩模式的代码比特（模 12 附标）指配给 12 个副载波列的段。这在以上利用段附标标明 5 收缩模式比特相应的交织器段来例示。这样对频率较低的副载波到频率较高的副载波从 0 排到 11 的次序表示 12 个副载波段。

每个段包括 38 个列，载有要用于 19 个副载波的代码比特，一个

特定的副载波的实部和虚部分量分标为两个相邻的列。整个交织器包括 12 个段，共有 456 个列。最外侧的副载波标为列 0、1 和 454、455。列 190 至 265 载有最接近 FM 主频谱的可选收缩比特。示出第 K 段附标的间距的部分交织器阵列（行 0 至 17，列 0 至 8）可以示为：

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0    | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   | 105  | 120  |
| 570  | 585  | 600  | 615  | 630  | 645  | 660  | 675  | 690  |
| 1140 | 1155 | 1170 | 1185 | 1200 | 1215 | 1230 | 1245 | 1260 |
| 1710 | 1725 | 1740 | 1755 | 1770 | 1785 | 1800 | 1815 | 1830 |
| 2280 | 2295 | 2310 | 2325 | 2340 | 2355 | 2370 | 2385 | 2400 |
| 2850 | 2865 | 2880 | 2895 | 2910 | 2925 | 2940 | 2955 | 2970 |
| 3420 | 3435 | 3450 | 3465 | 3480 | 3495 | 3510 | 3525 | 3540 |
| 3990 | 4005 | 4020 | 4035 | 4050 | 4065 | 4080 | 4095 | 4110 |
| 4560 | 4575 | 4590 | 4605 | 4620 | 4635 | 4650 | 4665 | 4680 |
| 5130 | 5145 | 5160 | 5175 | 5190 | 5205 | 5220 | 5235 | 5250 |
| 5700 | 5715 | 5730 | 5745 | 5760 | 5775 | 5790 | 5805 | 5820 |
| 6270 | 6285 | 6300 | 6315 | 6330 | 6345 | 6360 | 6375 | 6390 |
| 6840 | 6855 | 6870 | 6885 | 6900 | 6915 | 6930 | 6945 | 6960 |
| 7410 | 7425 | 7440 | 7455 | 7470 | 7485 | 7500 | 7515 | 7530 |
| 7980 | 7995 | 8010 | 8025 | 8040 | 8055 | 8070 | 8085 | 8100 |
| 8550 | 8565 | 8580 | 8595 | 8610 | 8625 | 8640 | 8655 | 8670 |
| 9120 | 9135 | 9150 | 9165 | 9180 | 9195 | 9210 | 9225 | 9240 |
| 1    | 16   | 31   | 46   | 61   | 76   | 91   | 106  | 121  |

每个段分成 15 个块，每块 17 行。这些块有利于通过将相邻的编码信息比特相应的代码比特隔开一个块内的行数在时间上进行交织。

交织器阵列的行附标 row 和列附标 col 可以用表达式

$$col = \left[ \text{int} \left( \frac{k}{BLOCKS} \right) \right] \bmod COLS + 38 \cdot part,$$

$$row = \left[ \frac{ROWS}{BLOCKS} k + \text{int} \left( \frac{k}{COLS \cdot BLOCKS} \right) + [(4 \cdot part) \bmod BLOCKS] \right] \bmod ROWS,$$

计算，其中交织器规模常数为：行数  $ROWS = 255$ ，列数  $COLS = 38$ ，块数  $BLOCKS = 15$ ；而第  $k$  个收缩模式的段为  $part(part=0,1,\dots,11)$ 。交织器阵列的这部分（图 6）示出了收缩模式附标  $k$  的各相继值在时间和频率上被隔开的情况。

本发明使接收机减轻由于正交频分多路复用广播系统内的非均匀干扰而引起的干扰影响。本发明的优选实施例涉及信道带内（IBOC）数字音频广播（DAB）系统。在这种系统中，离主 FM 载波最远的外侧 OFDM 副载波有时会受到来自第一邻近信道可能还有第二邻近信道的破坏性干扰。这里所揭示的技术使接收机可以在确定干扰高到污染某些 OFDM 载波时就自适应地删除根据这些 OFDM 载波得出的软码元。这里所用的特定 FEC 编码技术开发了收缩或删除一些特定比特而不会使编码增益有多大损失的能力。

对于应用 CPC 码来说，IBOC DAB 是理想的候选对象，因为数字 DAB 传输是通过两个边带（上边带和下边带）实现的，这两个边带可能受到几乎独立的干扰和独立的衰落的有害影响。如果一个边带完全被在接收机附近的一个强的第一邻近 FM 信号污染，那么另一个边带就必需是在接收机独立能解码的。因此，每个边带必需用独立能解码的 FEC 码编码。然而，在两个边带都含有没有被干扰完全污染的有用信息时，CPC 码就能提供比将两边功率合并所达到的更高的编码增益。此外，还开发了 OFDM 交织技术来处理 FM IBOC DAB 信道的独特干扰和选择性衰落特性。

本发明利用在时间上交织来减轻在多个码元时间内平坦（或宽带）衰落的影响。本发明还利用了非均匀副信道干扰统计特性的先验知识，从而得出将代码比特分配到各副载波上的精心配置和选择 CPC 码，用于 FM 混合 IBOC DAB。

虽然本发明结合目前可认为是它的优选实施例进行了说明，但对于熟悉该技术领域的人员来说显然可以在不偏离如在下列权利要求书中所提出的本发明的专利保护范围的情况下对这些实施例作出种种改动。

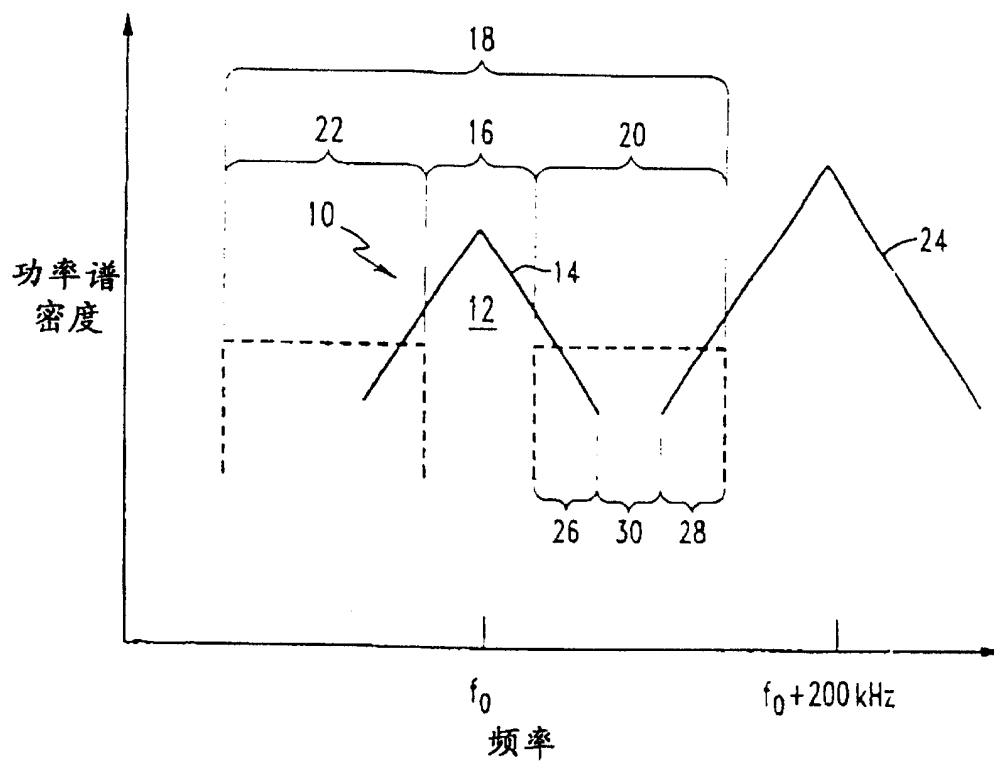


图 1

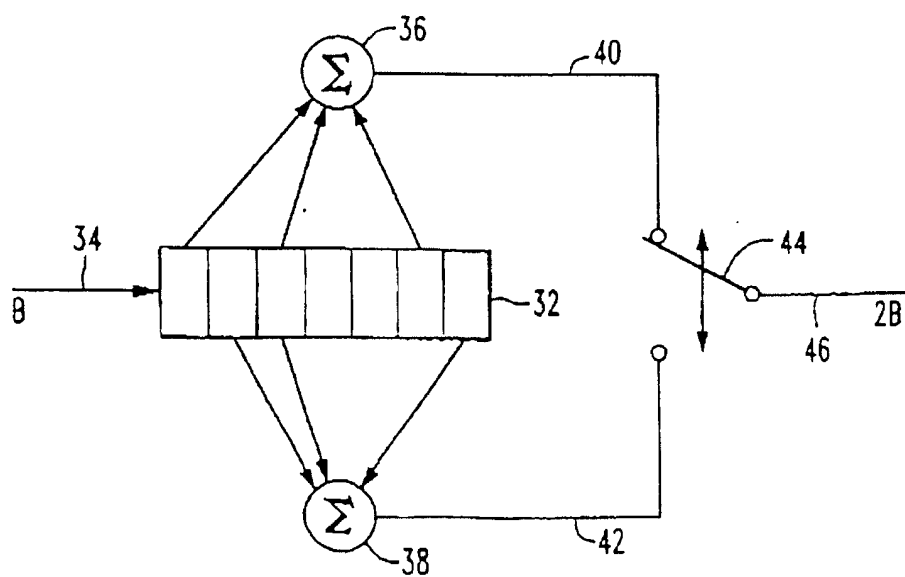


图 2

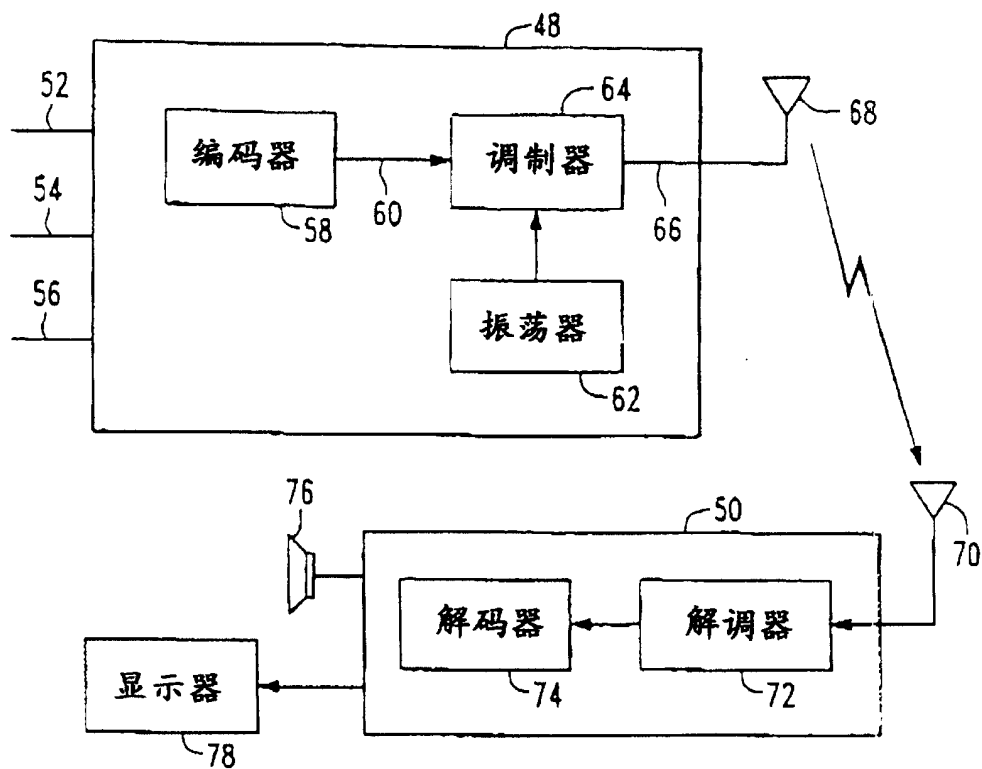


图 3

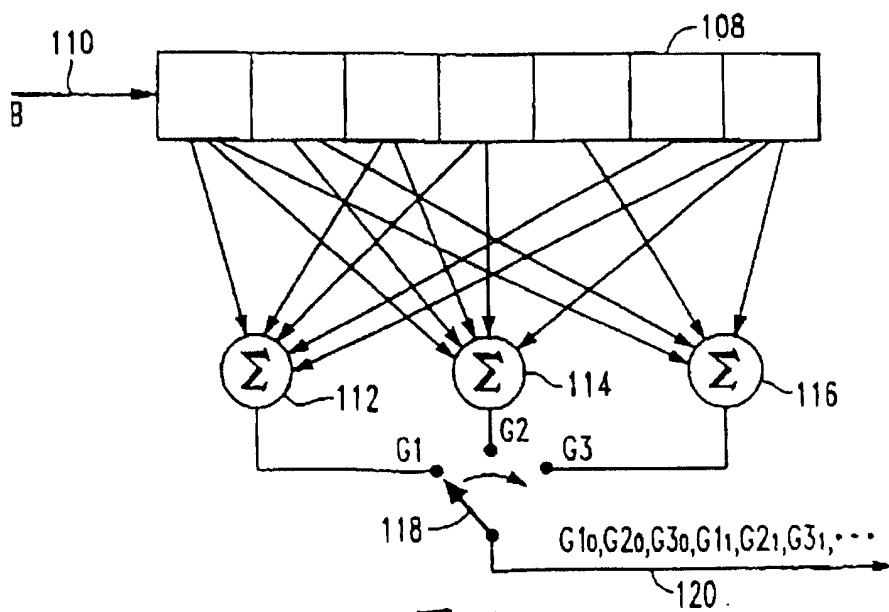


图 5



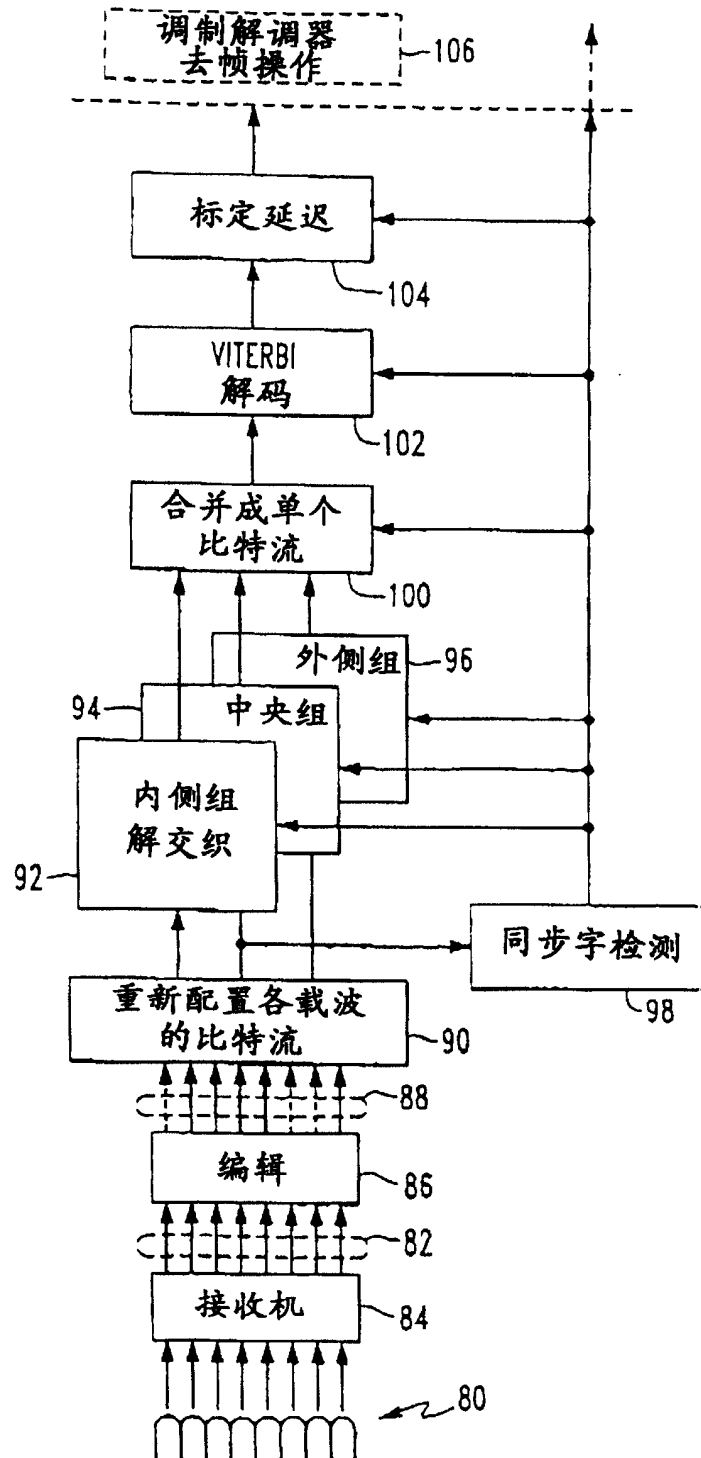


图 4

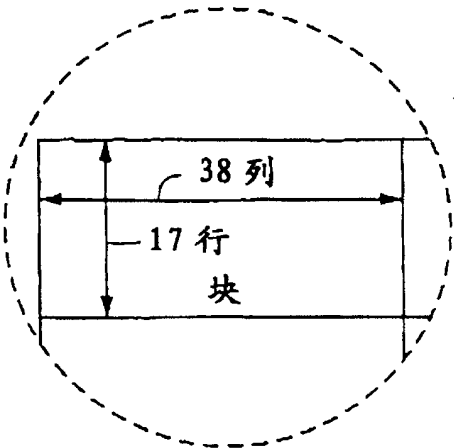


图 6a

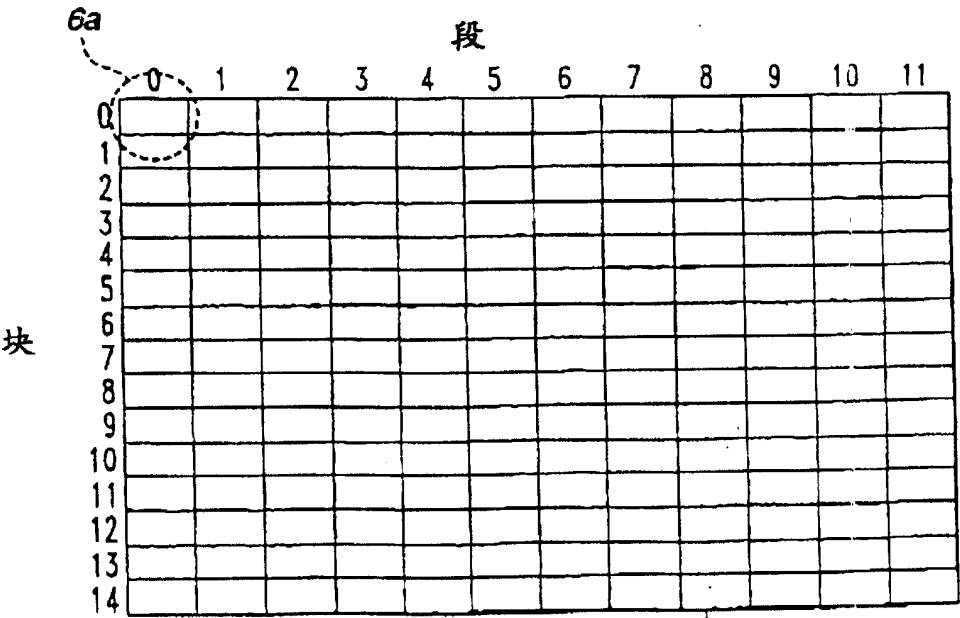


图 6