



[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94100280.2

[51]Int.Cl⁵

H04L 1/00

[43]公开日 1994年10月19日

[22]申请日 94.1.5

[30]优先权

[32]93.1.6 [33]US[31]001,061

[71]申请人 格伦内勒电子有限公司

地址 美国北卡罗莱纳州

[72]发明人 R·F·马切托 T·A·施图尔特
P·K·-M·何

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴增勇 张志醒

H04B 1/12

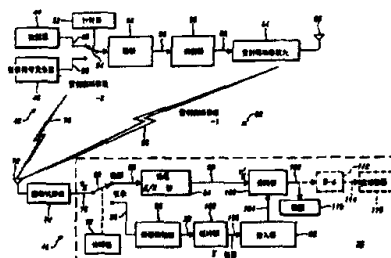
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 利用引示符号补偿多路干扰

[57]摘要

补偿无线电信号的衰减和干扰的方法和装置。将引示符号加到数据符号以形成在发射机调制的连续帧。该调制信号由于简单衰减和多路及同时广播干扰而遭受数据损失。接收机对接收到信号进行解调和处理,以提供包含数据符号和含引示符号的引示信号的数据信号。将该数据信号延迟足够时间以便信道脉冲响应估值由引示符号的连续块构成通过内插实现衰减和干扰的补偿,以改善恢复数据的位出错率。



1. 一种无线电系统中用于接收机对来自至少一个发射机的传播信号的衰减进行补偿的电路，所述信号以数据帧传送到该接收机，所述电路包含：

(a) 引示符号发生装置，耦合到该无线电系统中的发射机，用于产生发送到无线电系统中接收机的每个数据帧中的预定义的多个引示符号；

(b) 分离装置，耦合到用于接收信号输入的接收机，用于从每个数据帧中多个数据符号中分离多个引示符号，产生包含所述多个引示符号的引示符号信号和包含所述多个数据符号的数据信号，所述引示信号和所述数据信号彼此分开；

(c) 延迟装置，耦合以接收数据信号，用于将来自当前帧的数据信号延迟到接收到来自至少一个后继帧的引示符号信号之后，从而所述延迟装置产生延迟数据信号；

(d) 引示信号处理装置，耦合以接收引示符号信号，用于对所接收信号每帧中多个引示符号判定估算的信道脉冲响应；

(e) 插入滤波装置，为接收每个数据帧的估算的信道脉冲响应而耦合，包括用于存储来自至少一个前面帧的估算信道脉冲响应，所述插入滤波装置将估算信道脉冲响应值插入在当前和前一个帧之间，作为信道特性的函数，确定一帧中每个数据符号的插入的信道脉冲响应；以及

(f) 译码器装置，为接收插入的信道脉冲响应和延迟的数据信号而耦合，用于恢复发送到接收机的作为插入的信道脉冲响应和延迟数据信号函数的数据，从而基本补偿所接收信号中的衰减和干扰。

2. 如权利要求1所述电路，其特征在于，所述分离装置包含用于

抽取每帧的一部分用于引示符号信号的时序装置，作为每帧中多个引示符号在接收信号中暂时出现期间的一个预定时间区间的函数，然后抽取接收信号每一帧的时间余量以产生该数据信号。

3. 如权利要求1所述电路，其特征在于，分离装置、延迟装置、引示信号处理装置、插入滤波装置和译码装置包含数字信号处理器。

4. 如权利要求1所述电路，其特征在于，译码器装置为每个数据符号从数据矢量[S] 的一组可能值中，通过在对该组中每个数据矢量表达式估算后判定表达式 $D([S])$ 的最小值，选出一个数据矢量，该表达式定义为

$$D([S]) = \sum_{i=L+1}^{M-L-1} |r(i) - [S(i)][W(i)]|^2$$

其中：

$r(i)$ 为第 i 个接收数据符号；

$[W(i)]$ 是第 i 个数据符号的插入的信道脉冲响应；

M 是每个帧中数据符号和引示符号的总数；和

L 是所接收信号的信道脉冲响应的时间区间。

5. 如权利要求4所述电路，其特征在于，所述译码装置包含Viterbi译码器，用于最优选择集合[S] 。

6. 如权利要求4所述电路，其特征在于，译码装置包含通过执行具有次最优性能的降低复杂度形式Viterbi算法来确定集合[S] 的Viterbi译码器。

7. 如权利要求1所述电路，其特征在于，衰减是由于通过不同传播路径到接收机的至少两个信号的干扰；插入滤波装置包含矩阵运算器，用于确定作为表示信道特性矢量和从接收引示符号导出的信道脉冲响应估值矢量的矢积的函数的插入的信道脉冲响应。

8. 如权利要求1所述电路, 其特征在于, 译码装置包括均衡器和判定装置。

9. 如权利要求1所述电路, 其特征在于所述插入滤波装置使用从一组中选出的信道特性, 该组包括:

- (a) 多普勒衰减频率;
- (b) 接收机干扰信号的相对信号强度;
- (c) 干扰信号之间的传播延迟差异;
- (d) 干扰信号之间的频率偏移; 以及
- (e) 接收信号的信噪比。

10. 如权利要求9所述电路, 其特征在于, 根据接收信号间衰减和干扰最坏情况下来选择信道特性。

11. 一种接收机用于对来自至少一个发射机的传播信号的衰减进行补偿的方法, 所述信号作为数据帧传送到接收机, 所述方法的特征在于包含以下步骤:

(a) 在每个发送到无线电系统中接收机的数据帧中产生预定的多个引示符号, 每一帧还包括多个数据符号;

(b) 从每个数据帧的多个数据符号中分离多个引示符号, 产生彼此分离的引示符号信号和数据信号;

(c) 将当前帧的数据信号延迟到接收到来自至少一个后继帧的引示符号信号之后, 从而产生一个延迟的数据信号;

(d) 从接收信号每一帧中多个引示符号判定估算的信道脉冲响应;

(e) 存储来自至少一个先前帧的估算的信道脉冲响应;

(f) 将估值信道脉冲响应的值插入在当前的和前面的帧之间, 以确定作为信道特性函数的帧中每一数据符号的插入的信道脉冲响应; 以及

(8) 恢复发送到接收机的作为插入的信道脉冲响应和延迟的数据信号函数的数据。

12. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 从每个数据帧分离多个引示符号的步骤包含为引示符号信号抽取每一帧作为每个帧多个引示符号在所接收信号中暂时出现的预定时间区间函数的一部分, 然后抽取数据信号的接收信号每一帧的时间余项的步骤。

13. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 衰减是由于通过不同传播路径到接收机的至少两个信号的干扰, 插入步骤包括确定作为表示信道特性矢量和从接收到引示符号导出的信道脉冲响应估值矢量的矢量积的一个函数的估值信道脉冲响应的步骤。

14. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 插入步骤包含对帧中每个数据符号判定相应插入信道脉冲响应[W] , 它定义为:

$$[W] = [F(opt)] [V]$$

其中:

[F(opt)] 是作为信道特性函数判定的最优插入器矩阵, 以及

[V] 是包含从多个帧中多个引示符号导出的估算的信道脉冲响应值的矢量。

15. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 插入步骤使用从以下组中选出的预定信道特性:

- (a) 多普勒衰减频率;
- (b) 接收机干扰信号的相对信号强度;
- (c) 干扰信号之间的传播延迟差异;
- (d) 干扰信号之间的频率偏移; 以及
- (e) 接收信号的信噪比。

16. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 根据接收机接收的信号间衰减和干扰的最坏情况下来预定义和选择信道特性的数值。

17. 如权利要求11所述方法, 其特征在于, 恢复数据的步骤包括: 为每个数据符号从数据矢量[S] 的一组可能值中通过在对组中每一数据矢量估算表达式之后确定表达式 $D([S])$ 的最小值选择一个数据矢量的步骤, 所述表达式定义为

$$D([S]) = \sum_{i=L+1}^{M-L-1} |r(i) - [S(i)][W(i)]|^2$$

其中:

$r(i)$ 为第 i 个接收数据符号;

$[W(i)]$ 是第 i 个数据符号的插入的信道脉冲响应;

M 是每个帧中数据符号和引示符号的总数; 以及

$L+1$ 是所接收信号的信道脉冲响应的时间区间。

18. 如权利要求17所述方法, 其特征在于, $[W(i)]$ 等于最优插入矩阵 $[F(opt)]$ 和估算信道脉冲响应矢量 $[V]$ 的矢量积, 而 $[F(opt)]$ 定义为

$$[F(opt)] = [R(uv)][R(vv)]^{-1}$$

其中:

$[R(UV)]$ 是相关矩阵,

$[R(VV)]$ 是协方差矩阵,

V 是包含从多个帧的多个引示符号导出的估算的信道脉冲响应值的矢量, 以及

U 是实际的信道脉冲响应。

19. 如权利要求18所述方法，其特征在于，最优插入矩阵[$F(opt)$] 包括 $L+1$ 个插入器，所述矩阵的每一行包括不同插入器，所述插入步骤包含将估算信道脉冲响应被所述 $L+1$ 个插入器中每一个相乘的步骤。

20. 如权利要求18所述方法，其特征在于，多个数据符号组合在一起，相同最优插入器矩阵[$F(opt)$] 对一组中每一数据符号运算，从而减少插入器系数的存储。

21. 如权利要求11所述方法，其特征在于，恢复步骤包含对其在预定范围内发射的位出错率随接收机接收的干扰信号之间的差分延迟增加而降低的数据进行译码的步骤。

22. 如权利要求11所述方法，其特征在于，所接收信号传送基本同时来自不同发射机的相同数据，所述插入步骤对由于所述信号间干扰所引起的衰减进行补偿。

利用引示符号补偿多路干扰

本发明一般地涉及最大限度地减小多路和同时广播对无线电信号的干扰影响的设备和方法。更具体地涉及利用引示符号确定传播对所接收无线电信号的影响的设备和方法。

无线电信号易受若干传播现象的支配，而极大地影响接收机的信号强度。若无线电信号从建筑物或其它人造或自然表面反射，则反射后的信号沿着与直接传播信号不同而较长的路径可以不同于直接信号的相位到达接收机；由此引起的两个或多个信号间的干扰降低了接收机的信号强度。这是多路干扰现象。

一种相关型干扰产生于从多个发射机广播同一信号的同时广播的寻呼系统中。置于由两个或多个发射台发射的相同信号所复盖的一个区域中的接收机可能遭遇因破坏性干扰引起的总体接收信号强度的降低，这种干扰在从不同发射机接收到的无线电信号被相加在一起时，由于传播距离，因而引起信号相位可能完全不同。故同时广播干扰在其影响方面是类似的，但与多路干扰不同点在于前者是指信号与不同发射机间的干扰，而后者是指来自同一发射机的经过不同传播路径的信号之间的干扰。此外，由于精确地设定重叠传输的发射中心RF载频实际上是不可能的，故在同时广播寻呼系统中接收机迂到附加失真问题，而在信号由一个发射机发出的多路干扰中这一问题并不显著。在平坦衰落过程中，所接收信号的频率响应是平坦的只是增益和相位是波动的。

平坦衰落还表现出另一种现象，被接收信号强度可因这种现象而被削弱，然而，当出现平坦衰落现象时，仅涉及来自一个发射机的信

号而且该信号在无反射情况下直接传播到接收机。

为减弱接收机的多路干扰的影响，有时运用多级电平低波特率传输。该技术试图通过使所接收的多路信号中相对时间/相位差与数据波特率相比之下较小而最大限度地减小多路失真影响。这种方法的最显著的缺陷是其对数据率的限制从而使系统性能很差。再者被接收信号甚至在可用较强接收信号时也有位误差率(BER)而且在多电平下信号的调制是复杂的，必须将其分为不同的副带，从而增加了处理器的负荷。多电平低波特率调制技术的应用论述于1991年11月12日给FCC的一篇呈文中，其题目为“为全国无线网络业务指配频率规则的MTEL呈文”。

为降低多路干扰影响所用的另一种技术是利用均衡器，包括用于快速跟踪和收敛动态变化状态的快速卡尔曼(Kalman)均衡器。不过，这一技术以前还未被提出用于同时广播的系统中。传统均衡器适应畸变方面相当慢，造成在该均衡器正确收敛前有相当高的BER。尽管较快的卡尔曼均衡器可减小该问题，但该装置所用算法计算极为复杂而需要大量额外处理开销。另外，卡尔曼均衡器中所用算法有点不稳定、事实上，当由于多路畸变而出现快速衰落时，均衡器会变得不稳定并有可能失效。题为“数字通信”的(J. Proakis)著，McGraw Hill 1989年出版第二版)的教科书中，在519页到693页的第6章中，描述了为此目的使用均衡器。

使用引示符号辅助调制(PSAM)在使平滑衰落影响最小的现有技术中已是众所周知的技术，而且对移动接收机使用特别有效。有若干参考文献说明了如何使用引示符号来有效减小由平滑衰落引起的BER，例如，发表在1991年11月第40卷，第4期有关车辆技术的IEEE汇刊上由J. K. Cavers所著的“雷利(Rayleigh)衰落信道的引示符号辅助调制的分析”，以及1989年12月发表在IEEE的《Selected Areas of

Communications》杂志第7卷PP1347-1355上的由L. Moher和J. H. Lodge所作的“TCMP-Rician衰落信道的一种调制和编码策略”。该技术在每个发送的帧中使用单个引示符号。这些参考文献仅仅讨论就减少始自单个发射机地点的直接路径的单个射线的衰减而使用引示符号，而没有教导或指出如何使用引示符号处理多个路径或同时广播的干扰问题。

N. Lo, D. Falconer和A. Sheikh在题为“移动无线电信道的自适应均衡和异样组合”的论文(1990年12月, IEEE Globecom90会刊)公开了一种数字蜂窝式无线电系统, 该系统使用一种结合的自适应判定反馈均衡器和异样组合器来缓和多普勒(Doppler)衰减频率达到100Hz。如该参考文献中所披露, 插入了信道脉冲响应的电流估值, 而插入的数值加到数据块中后继数据符号中, 以随时补偿信道脉冲响应的变化。该技术规定在每一数据块之前发送多个预定义的引示符号并在每个数据块之前和之后插入所接收符号的估值信道脉冲响应。该插入用于使较快多普勒衰减对数据影响最小。但是, 这种方法只能达到适中的性能增益, 原因是它未能考虑信道条件, 例如接收信号的相对信号强度, 多普勒衰减频率, 干扰信号之间传播延迟差, 干扰信号之间的频率偏移, 以及执行插入过程时的接收信号的信噪比。因此, 该论文公开的方法并不能在信道极端信号衰减条件下提供最优补偿。

因此, 显然需要对多路和同时广播干扰的补偿, 以进行高速数据传送。现有技术系统要么受限于低的数据速率而BER过高, 需太多的处理开销, 要么就是不能提供衰减问题的最优减轻。

按照本发明, 定义一种无线电系统, 用于就从至少一个发射器到接收器的数据帧形式的信号传播的衰减对接收机进行补偿。该无线电系统包含耦合到该无线电系统发射机、用于在每个发送给接收机的数据帧中提供预定的多个引示符号的引示符号发生装置。耦合到用于输

入接收到信号的接收机的分离装置，该装置从每个数据帧的多个数据符号中分离出多个引示符号，产生一个引示符号信号该信号包含：多个引示符号和由多个数据符号构成的一个数据信号。耦合的延迟装置，接收数据信号将来自当前帧的数据信号延迟到接收到来自至少一个后继帧的引示符号信号之后，产生一个经延迟的数据信号。设置为接收引示符号信号耦合的引示信号处理装置，用以对接收到信号中每个帧中多个引示符号确定估值信道脉冲响应。插入滤波装置耦合以接收每个数据帧的估值信道脉冲响应，该装置包括存储装置以存储来自至少一个前面帧的估值信道脉冲响应。该插入滤波装置将估值信道脉冲响应的数据插在当前和前面的帧之间，以按预定的信道功能特性确定帧中每个数据符号的插入的信道脉冲响应。译码装置，耦合以接收插入的信道脉冲响应及延迟的数据信号，按插入的信道脉冲响应和延迟的数据信号的功能将发送的数据恢复给该接收机，从而基本上补偿所接收信号中的任何衰减和干扰。

分离装置最好包含时序装置，用于对引示符号信号抽取每一帧的一部分，作为每个帧中多个引示符号在所接收信号临时出现的预定时间间隔的函数，然后抽取数据信号的每个帧的接收信号的时间余量。再者，该分离装置，延迟装置、引示信号处理装置，插入滤波装置和译码装置最好包含数字信号处理器。

译码装置通过判定表达式 $D([S])$ 的最小值，在对一组中每一数据矢量作了该表达式估值后从该组数据矢量 $[S]$ 的可能值中选出每个数据符号的数据矢量。该表达式定义为：

$$D([S]) = \sum_{i=L+1}^{M-L-1} |r(i) - [S(i)][W(i)]|^2$$

其中 $r(i)$ 是第 i 个接收到的数据符号， $[W(i)]$ 是第 i 个接收到数据符号的插入信道脉冲响应， M 是每个帧中数据符号和引示符号的总数，而 L 是所接收信号的信道脉冲响应的间隔。注意在本说明书和权利要求书中，记号“ $[X]$ ”用于表示 X 为一矢量或矩阵。

在衰减是由于至少两个经过不同传播路径到达接收机的信号之间的干扰所引起的场合下，插入滤波装置包含矩阵算符装置，用于判定插入的信道脉冲响应为表示预定信道特性的矢量和从所接收引示符号导出的信道估值的矢量的矢量积的函数。译码器装置最好包含Viterbi译码器，并最好执行降低复杂度的译码器算法。

同样在最佳实施例，插入滤波装置使用预定的信道特征，包括，多普勒衰减频率，接收机干扰信号的相对信号强度，干扰信号之间的传播延迟差，干扰信号间的频率偏移，以及所接收信号的信噪比。这些预定的信道特性是根据衰减及所接收信号间干扰的最坏情况下选择的。

本发明的另一方面是一种用于对从至少一个发射机到接收机传播数据帧形式的信号衰减的接收机进行补偿的方法。该方法包含通常与构成上述电路板的单元的功能一致的步骤。

本发明的前述方面及许多附带优点通过参考以下结合附图的详细说明将更容易理解，附图中：

图1是无线电系统的原理图，其中，接收机接收造成多路干扰及衰减的直接及反射的信号；

图2是简化的同时广播无线电系统的原理图，其中，接收机接收来自不同发射机的同时广播传输，并受到由于累加了已传过不同长度路径并有少许不同频率的信号而引起的同时广播干扰及衰减；

图3是结合到本发明中用于在接收机侧补偿所接收无线电信号间的干扰及衰减的无线电系统中的无线电发射机及接收机的简略方框

图;

图4是说明传送的无线电信号中的干扰及衰减的功能图;

图5是调制系统的离散时间模型图,表明以时间 T 间隔采样的接收信号(数据矢量 $[S(K)]$ 及信道状态矢量 $[H(K)]$);

图6是表明每个接收信号帧中引示符号与数据符号间的关系图;

图7是表明由发射机执行的步骤流程图,这些步骤用于将带数据符号的多个引示符号包括在调制和发送的每一帧中;

图8是表明接收机执行的用于从受衰减和干扰的接收信号中恢复数据的逻辑步骤的流程图;

图9是现有系统中也是用引示符号对衰减和干扰进行补偿时不同均方根延迟下的BER与信噪比(SNR)的关系图;

图10是本发明的不同均方根延迟下的BER与SNR的关系图。

如在前面所述,无线电接收机受到若干种类型的衰减和干扰。当直接信号淡入淡出接收机时便出现平滑衰减。两种其它类型的衰减是由多个信号干扰所引起,这些干扰包括分别如图1和图2中框图20和32所示的多路和同时广播干扰。在原理性框图20中,发射机22通过天线24发射RF信号,该信号沿路径 t_d 直接传播到天线28,再耦合到接收机30。此外,来自发射机22的信号也沿路径 t_r 传播,并受诸如建筑物的人造物体或诸如大山26的自然物体反射。该反射后信号沿路径 t_r' 传送到接收机30的天线28。沿路径 t_r' 传播的信号和沿路径 t_d 传播的直接信号可随着天线28处的信号间的相位关系而发生干扰。由于反射的和直接的无线电信号经过不同的路径长度,在两个信号之间会出现相位偏移和增益变化。如果这些反射的和直接的信号有 180° 相位差,则由接收机30解调的信号中出现最大衰减。

同样地,如图2中原理性框图32所示,供有同样输入信号的第一同时广播发射机22a和第二同时广播发射机22b分别沿路径 t_{da} 和 t_{db}

发射相应的线性调制的RF信号到接收机30的天线28。这些标称值相同的RF信号每一个所经距离和两个信号频率的少许差异会造成天线28上的相位差，使接收机30解调出的信号发生衰落，这非常类似于图1所示多路实例中信号的干扰和衰减。再者，平滑衰落和多路干扰会与同时广播干扰结合，虽然没有具体示出，但它们进一步恶化了接收机30的衰落问题。

本发明的最佳实施例公开了在用于恢复接收机处受上述三种衰减的同时广播传呼数据的一种应用。该方法特别适用于线性调制，例如16线正交幅度调制(16QAM)系统中。在说明实现本发明的装置和方法时，采用每一线中带独立塞利衰减的两线模型，因为该信道模型由电信业协会(TIA)为评估北美数字蜂窝式系统性能而设。根据该信道模型，如果 $s(t)$ 为发射的复杂包络，相应的接收到的基带信号 $r(t)$ 可由以下表达式定义：

$$r(t) = f(t)s(t) + g(t)s(t-d) + w(t) \quad (1)$$

其中， $f(t)$ 、 $g(t)$ 和 $w(t)$ 是全部独立的复杂高斯过程，而 d 是两个传播路径之间的相对延迟。具体地说，如图4所示， $f(t)$ 和 $g(t)$ 表示衰减，而 $w(t)$ 表示信道附加白高斯噪声(AWGN)。在该图中，由线120表示的复杂包络 $s(t)$ 沿分离路径122和124发送，其中每一个分别受乘法方框126和128的衰减过程 $f(t)$ 和 $g(t)$ 。受衰减并沿路径130发送的信号加到接收机天线的其它信号上(用加法器140的信号累加表示)，包括通过受延迟 d 的路径132的信号，如方框134所示。产生的延迟信号通过路径136并在加法器140中与通过路径130的信号和用 $w(t)$ 表示的AWGN累加，该AWGN表示为线路138上传送的输入信号。加法器140组合这些信号，将接收到的复杂包络 $r(t)$ 提供给接收机30进行解调，

如线142所示。本发明提供处理接收到信号 $r(t)$ ，以恢复原始传送数据的电路和方法，不处理的话会由于衰减和/或接收信号间的干扰而遭受严重BER和传输信息的损失。

现参照图3，按照本发明的用于对衰减及干扰作补偿的无线电系统总的用标号38示出。无线电系统38包括接收机40和一个或多个发射机42，（图3中仅示出一个发射机42）。发射机42包含产生发送到接收机40的多个数据符号的数据源44。此外，引示符号发生器46在由数据源44产生的多个数据符号之前产生多个组合成一块的引示符号。后面跟随多个数据符号的该引示符号块包含一帧发送信号。

图6示出 M （总数）个符号的示例性帧170它包括 $(2L+1)$ 个引示符号174，范围从 $P(-L)$ 到 $P(L)$ 以及 $(M-(2L-1))$ 个数据符号172。每个后继帧178（图6仅示出后继帧中的一部分）同样包括一块 $(2L+1)$ 引示符号174和多组 $(M-2L-1)$ 个数据符号172。

数据源44的波特率同样加到数据源44和引示符号发生器46，使得 M 符号连续帧的发射总波特率基本恒定。数据源44通过线48耦合到受控于计时器（或计数器）52的逻辑开关54。作为每一帧中符号 M 的总数、每一帧中引示符号174与数据符号172的相对数的函数，计时器52改变逻辑开关54的状态，即在数据源44和引示符号发生器46之间选择以确定在连续帧部分期间所发射符号类型。所选符号从逻辑开关54送到组帧块56，对将发送的 M 个符号的帧进行编辑。每个相继帧178在线路58上顺序传送到发射机42的调制器60。调制器60以数据和标引符号调制载波信号，由此产生的调制信号通过线路62传送到与发射天线66耦合的发射机功率放大器64。

包含引示符号和数据符号的调制帧从发射天线66幅射出去。在图3中以“闪电线(lightning bolt) 68”图形标示的雷利(Rayleigh)衰减信道1表示由接收天线72最终接收信号所受衰减的作用。同样，

同时广播的雷利衰减信道2(用“雷电70标示)表示从另一发射机发射的信号和/或从发射天线66发射后经人造或自然物体反射的信号所经过的衰减。两个雷利衰减信道间的干扰能引起显著衰减,使得难以用常规接收机恢复传送的数据符号。然而,接收机40包括利用由引示符号发生器46和发射机42所产生的引示符号来恢复受衰减和干扰影响的数据符号的电路,从而基本补偿这些不希望的效应。

接收天线72耦合到接收机解调器74,该解调器解调信号 $r(t)$,产生一个解调信号 r_k 。该解调信号 r_k 通过线路76输入到电路36。在该最佳实施例中,电路36包含数字信号处理器。线路76上的解调信号送到逻辑开关80,该开关80受控于与各发射机42中计时器52同步的计时器(或计数器)78(至少就确定分别包含引示符号和数据符号的每个帧及其部分的时间长度而论)。计时器78使逻辑开关80使接收到的解调信号的引示符号部分偏向到与信道估值器96耦合的线路86,将每一帧的数据符号部分转换到与延迟块84耦合的线路82。这样,逻辑开关80从每个接收帧的数据符号中分离出引示符号。

在该最佳实施例中,延迟块84将数据符号的连续帧延迟 $K/2$ 个数据帧。该延迟允许加到每个帧中连续数据符号估值的信道脉冲响应的插入,以对补偿快速衰减(快速衰减定义为以出现速率超过100Hz的衰减)以及为同时广播信号提供大于 $80\mu s$ 的均衡,正如从以下说明中可显见的。

在连续帧中数据符号被延迟块84延迟的同时,信道估值块96处理当前引示符号从而为当前 $2L+1$ 个引示符号导出信道脉冲响应估值,并且当前 $2L+1$ 个引示符号将为相继和前面帧中的对应 $2L+1$ 个引示符号的信道脉冲响应估值所利用。当前帧的信道脉冲响应估值通过线路98传送到缓冲器100以在其内暂存。缓冲器100存储通过线路102输入到内插器92的 K 个信道脉冲响应估值。插入的信道脉冲响应估值用 K 个信道

脉冲响应估值来确定，后者包括来自前面帧的 $K/2$ 个信道脉冲响应估值和来自当前和后继帧的 $K/2$ 个信道脉冲响应估值。然后以插入的信道脉冲响应估值对来自延迟块84的延迟数据符号进行处理以恢复受衰减的数据符号。

插入器92执行相当直接的插入操作以便在恢复数据符号中获得较大精度。在最优条件下，接收到的信号受相当慢衰减。慢速衰减条件意味着加到帧中每一个数据符号的信道脉冲响应估值在该帧的时间区间里基本不变。然而，高达100Hz以上衰减速率是经常的，这会造成显著不同的信道脉冲响应估值与应加到帧中较后数据符号相比，加到该帧中早先的数据符号上。为适应快速改变信道估值以及使快衰减期间从接收到信号恢复的数据的BER最小，重要的是在每个帧期间将信道脉冲响应估值的插入应用到数据符号上。在最简单情形下，可应用正好在待处理数据之前和之后的帧中的引示符号的信道脉冲响应估值以对该帧每个数据符号插入一信道脉冲估值。然而，可通过使用待处理数据符号帧之前和之后的两或三个帧的信道脉冲响应估值获得显著较低的BER。

本发明中的插入器92，不同于以前讨论的现有技术的系统，而是使用预定的信道特性来产生适当的插入信道脉冲响应估值，并加到待处理帧中每个数据符号中。这些预定义的信道特性包括信道多普勒衰减频率，接收机40干扰信号的相对信号强度，彼此相互影响的接收信号之间的传播延迟差。干扰信号间的频率偏移（在同时广播的传呼系统中最有可能出现，因为每个同时广播发射机的频率与该系统其它同时广播发射机的频率有些微差别）以及接收信号的信噪比。理论上，最好实时确定或测量这些信道特性的每一个，以使所涉及具体特性的当前值可为插入器92所用。利用目前技术，这种实时确认信道特性在经济上并不可行。但是，如果不管成本，可用比本最佳实施例设计所

用的更快更昂贵的处理器来实时对信道特性作估算。因此，目前最佳实施例对所用的这些信道特性的每一个使用预定的最坏状况值来确定为待处理帧中每个数据符号所用的插入的信道脉冲响应估值。

插入器92通过线路104耦合到译码器106。译码器106将由插入器92确定的插入值加到待处理帧的延迟数据值，从而通过对衰减或干扰的补偿恢复原始发送数据。如果原始发送数据是模拟数据，则不将译码器106的输出耦合到数据块110，而是耦合到数/模变换器(DAC) 112，以接收已译码数据。DAC112将数据变换为模拟信号，如框116所指示，通过线路114输出。

衰减处理是信道特性的函数。因此在确定插入信道脉冲响应估值加到数据符号(如上述)时，本发明考虑信道特性。以下文字说明这些信道特性如何进入该过程。参考图4，两个衰减过程 $f(t)$ 和 $g(t)$ 的自相关函数用以下两个等式表示：

$$R_{ff}(t') = P_{ff} J(2\pi F_d t') \exp(j2\pi F_1 t') \quad (2)$$

$$R_{gg}(t') = P_{gg} J(2\pi F_d t') \exp(j2\pi F_2 t') \quad (3)$$

其中 P_{ff} 和 P_{gg} 是两个随机衰减过程的差异(variances)(对应于功率)， F_d 是最大或最坏情况下的多普勒频率， $J(2\pi F_d t')$ 是零阶Bessel函数， t' 是自相关函数的变量， F_1 和 F_2 是两个接收信号的频率偏移(相对于接收机)。

与两线衰减模型关联的标称化均方根延迟传播用下式给出：

$$S = \frac{b\sqrt{a}}{1+a} \quad (4)$$

其中 a 是功率分离比率，可用下式定义

$$a = \frac{P_{ff}}{P_{gg}} \quad (5)$$

等式(4)中数值 b 可用下式定义，并相对传播延迟规范化：

$$b = \frac{d}{T} \quad (6)$$

其中 T 是符号间隔(即1除以该波特率)。

按照数字蜂窝式系统的TIA规格，一种调制方案应能处理至少20 ms的均方根延迟传播。假设这种系统的波特率近似为25000波特，则用等式(4)定义的传播因子 S 应为0.5。如在衰减信道间有相等的功率分割(最坏情形)，那么该调制方案应能处理长达两个符号间隔的传播延迟差异 $2T$ (对应于在同时广播传呼系统中提出的需求，其中延迟100 μ s是可能的)。

在最佳实施例中，由接收机40以信号发送的相同波特率采样接收信号 $r(t)$ 。然而，应注意到，也可选择使用其他采样频率(例如，发送波特率的整数倍)。由于在每个信道中发生频率选择性衰减，因此，所接收样本 $r(k)$ 可写成以下形式

$$r(k) = [S(k)][H(k)] + n(k) \quad (7)$$

其中

$$[S(k)] = [s(k), s(k-1), \dots, s(k-L)] \quad (8)$$

是第K个数据矢量， $s(k)$ 是第K个数据符号，

$$[H(k)] = [h(k,0), h(k,1), \dots, h(k,L)]' \quad (9)$$

是第K个信道状态矢量， $n(k)$ 是第K个滤波噪声项，而L是该信道的存储器。

在等式(9)中， $[h(k,)]'$ 值是一组相关的、零均值的、复式高斯变量，其相关函数由3个参数确定，这些参数包括等式(2)和(3)中给出的信道衰减过程的自相关函数，由发射机42发送的脉冲形状以及采样时刻。

图5描绘了数学上由等式(7)定义的衰减模型。图5中，用于一串数据符号 $s(k)$ 到 $s(k-L)$ 的调制系统和衰减过程的离散时间模型由线156标识，它如框158指出的样本时间T为间隔出现。每个数据符号被相应的信道状态矢量单元 $h(k,0)$ 到 $h(k,L)$ 相乘，用乘法器154表示，所产生的数值在加法器162中累加在一起，由线160所表示，噪声项由线164表示，形成在线166上传递的接收信号 $r(K)$ 。

发送预定义引示符号组的目的是为每个引示符号块作出信道状态或脉冲响应估值。由于发射机在每个帧中发射预定义的引示符号组或块，因此衰减效应很容易由相对于期望(预定义的)引示符号的所接收引示符号的性质指示。

如果我们假设信道衰减足够慢，以致信道状态矢量 $[H(K)]$ 在相继时间间隔 $(0, LT)$ 内基本不变，并且，如果忽略噪声项 $n(k)$ ，则

显然可在同样时间区间内将接收到样值矩阵被相应数据矢量 $[S(K)]$ 的逆相乘来获得信道状态矢量的估值。然而，由于确定矢量 $[S(K)]$ 的所接收数据样本在该区间是未知的，因此必须依赖已知的预定义引示符号。在该最佳实施例中，对总数为 M 个符号的每帧发送总数为 $2L+1$ 的引示符号。对带有相当慢衰减的信道，数值 M 可以相当大。作为一相当粗略的说法， M 应小于 $1/(2FdT)$ 。在最佳实施例中，已经实验判定对值 (FdT) 等于0.01时 M 的合理选择大约为35。然而，以这种衰减速率，在一个帧的时间区间内，信道响应显著变化，即我们不再处理慢速衰减。结果，帧起始处的数据符号可受到显然不同于帧末尾处的信道脉冲响应。所以，将从 K 个周围引示符号块获得的信道脉冲响应估值的插入用于获得加到每一帧内不同时刻处的相继数据符号的精确插入的信道脉冲响应估值是必不可少的，（如下面就要说明）。

尽管认识到慢速衰减情形并不代表典型的实际世界衰减条件，但首先在慢速衰减环境下考虑该问题仍是有帮助的。对慢速衰减，显然可在信道 L 的存储中将引示符号矩阵 $[P]$ 定义如下：

$$[P] = \begin{bmatrix} P(0) & P(-1) & \dots & P(-L) \\ P(1) & P(0) & \dots & P(-L-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(L) & P(L-1) & \dots & P(0) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$[P]$ 的逆变换由下式表示

$$[Q] = [P]^{-1} \quad (11)$$

这样，对低速衰减，在时间区间 $(0, L)$ 上的信道脉冲响应估值定义为：

$$[V] = [Q][r] \quad (12)$$

其中 $[r] = [r(0), r(1), \dots, r(L)]'$ ，其中 $r(K)$ 为第 K 个接收样本。

直观地看，在每个帧中发送的预定义引示符号序列应这样来选择以使信道脉冲响应估值错误为最小。对等于1或3的信道存储器 L ，存在“完全”的引示符号序列，使信道脉冲响应估值中的均方根误差最小。然而，如果选择其它非完美的引示符号序列，则可通过适当选择引示符号序列来使该误差最小。

在表格1中，示出用于存储器长度 L 等于1到6的两种线性调制类型的引示符号序列。在下表中示出的示例性引示符号序列的两种类型的线性调制包括： $\pi/4$ 正交相移键控(QPSK)和16QAM。

表1

信道存储器, L	<u>QPSK</u>	<u>16QAM</u>
1	$(-1, 1, 1)^*$	$(-3, 3, 3)^*$
2	$(-1, -1, -1, 1, -1)$	$(-3, -3, -3, 3, -3)$
3	$(-1, -1, -1, 1, -1, -1, -1)^*$	$(-3, -3, -3, 3, -3, -3, -3)^*$
4	$(-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1)$	$(-3, -3, -3, -3, 3, -3, -3, -3, -3)$
5	$(-1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)$	$(-3, -3, -3, -3, 3, -3, 3, 3, -3, 3, 3)$
6	$(1, -1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, -1)$	$(3, -3, -3, -3, -3, 3, -3, 3, 3, -3, -3, -3, -3)$

在以上表格1中，列出的最优引示符号序列是基于这样一种假设，即同一块内的所有引示符号具有相同的相位角。为避免光谱峰值，引示符号的相位角应以伪随机方式逐帧变化。在表格1中以星号指示最优序列(误差最小)。

在判定表格1所示引示符号序列时，大于6的信道存储器不作考虑，这是因为接收机40吞吐量的限制。如果我们考虑多普勒频率为发信频率的0.5%的场合，最大帧尺寸大约为100个符号(M)。当L等于6，每个帧所需引示符号个数等于13，导出大约为容量87%的最大流量。虽然，理想的信道存储器L至少应和无线电系统中所用的截断的奈魁斯特脉冲间隔一样长，该数字太大以至不能在不形成整体低效率时使用。因此，实际上L应限制为6或应用本引示符号技术的较少符号。由于未使用引示符号的最优数，使用该技术对衰减补偿中的些微降级导致该无线电系统SNR的成比例下降。

由于大多数无线电系统，尤其是同时广播传呼系统，受到接近甚至超过100Hz的快速衰减速率，本技术使用插入来确定加到帧中每个数据符号的插入信道脉冲响应估值。更重要的是，如上所说明，插入器在执行插入时考虑预定义最坏场合的信道特性，从而产生显著改进的插入信道脉冲响应估值，与现有技术相比该估值被加到正在处理的帧中的每个数据符号上。这些最差信道特性通过信道建模来确定。

假设一种离散的多路传播模型， $[H(K)]$ 的协方差矩阵定义成

$$R_{HH}(k,k) = \frac{1}{2} \overline{[H(k)][H(k)]'} \quad (13)$$

其中等式(13)中的横杠表示统计均值，而 $[H(K)]'$ 是 $[H(K)]$ 的共轭转置。该协方差矩阵 $R_{HH}(K,K)$ 是4个信道参数的函数，这4个参

数包括：最大多普勒频率（也称为衰减速率），不同传播路径（多路径传播）的接收信号强度，不同路径的传播延迟差异，而在同时广播信号情形下，从不同发射机⁴²发射的信号之间的频率偏移。此外，等式(13)定义的函数也取决于该无线电系统中所用脉冲形状。不同时间的信道状态矢量是相关的，例如可用 $[H(m)]$ 的共轭转置替代等式(13)中 $[H(K)]$ 的共轭转置来获得 $[H(K)]$ 和 $[H(m)]$ 之间的关联。

从接收到的引示信号的每一帧中，导出该帧中影响引示符号块的信道状态矢量的估值。一帧中任何给定数据符号的信道状态矢量是通过插入该 K （或 $2N$ ）信道脉冲响应估值来获得，它们可从接收到的引示符号块，从包围待处理帧的帧中导出。对给定信道参数组以及一个帧内给定的数据符号位置，存在一个最优的插入信道脉冲响应估值，该估值如下所述加以确定。

给出如上所述的条件，其中每个帧中有 M 个符号， $2L+1$ 是引示符号，假设第一引示符号起始于时间 $-L$ ，从第 K 个引示符号块中导出的信道脉冲响应估值 $[V(K)]$ 可由以下等式确定：

$$[V(k)] = [E(k)] + \sum_{i=0}^L [M(i)][H((k-N)M+i)] \quad (14)$$

其中矩阵 $[M(i)]$ ， $i=0,1,\dots,L$ 是等式(11)中的 $[Q]$ 和以0来代替 $[P]$ 中的除了第 i 行的每一行所得到的矩阵的乘积。而且，矩阵 $[E(k)]$ 是该估值的噪声分量。两个信道脉冲响应估值 $[V(k)]$ 和 $[V(m)]$ 之间的相关性定义为

$$R_{VV}(k,m) = [R(ee)]\delta(k-m) + \sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L [M(i)]R_{HH}((k-N)+i,(m-N)M+j)[M(j)]' \quad (15)$$

其中, $\delta(k-m)$ 是 $k=m$ 时的单位, $[R(ee)]$ 是噪声矢量 $[E]$ 的协方差矩阵, 而 R_{HH} 是两个信道状态矢量之间的相关性。

如果我们定义 $[U]$ 等于 $[H(n)]$, 其中 $[H(n)]$ 是时刻 n 的信道状态矢量, 则 $[U]$ 和 $[V(k)]$ 之间的相关性定义为:

$$R_{vu}(k, n) = \frac{1}{2} \overline{[V(k)][H(n)]^T} = \sum_{i=-\infty}^L [M(i)] R_{HH}((k-N)+i, n) \quad (16)$$

而 $[U]$ 和信道状态矢量 $[V] = \begin{bmatrix} V(1) \\ \vdots \\ V(K) \end{bmatrix}$ 之间的相关性由下式给定:

$$[R(vu)] = \frac{1}{2} \overline{[V][U]^T} = \begin{bmatrix} R_{vu}(1, n) \\ R_{vu}(2, n) \\ \dots \\ R_{vu}(K, n) \end{bmatrix} \quad (17)$$

$[V]$ 的协方差矩阵定义为:

$$[R(vv)] = \frac{1}{2} \overline{[V][V]^T} = \begin{bmatrix} R_{vv}(1,1) & R_{vv}(1,2) & \dots & R_{vv}(1,K) \\ R_{vv}(2,1) & R_{vv}(2,2) & \dots & R_{vv}(2,K) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{vv}(K,1) & R_{vv}(K,2) & \dots & R_{vv}(K,K) \end{bmatrix} \quad (18)$$

相关矩阵 $[R(VU)]$ 和协方差矩阵 $[R(VV)]$ 唯一地确定限定插入的信道脉冲响应估值的最优插入器 $[F(opt)]$ 如以下等式所指出:

$$[F(\text{opt})] = [R(uv)][R(vv)]^{-1} \quad (19)$$

在等式(19)中, $[R(uv)]$ 是 $[R(vu)]$ 的共轭转置, $[R(vv)]^{-1}$ 是 $[R(vv)]$ 的逆向。该最优插入器的大小是 $L+1$ 行和 $K(L+1)$ 列。此外, 最优插入器矩阵的每一行是信道状态矢量各个分量的插入值。而且, 该最优插入器特别依赖于数据符号位置 n , 因为 $[R(uv)]$ 是 n 的函数。

从以矩阵乘法形式获得一帧的该数据部分的信道脉冲响应:

$$[W] = [F(\text{opt})][V] \quad (20)$$

其中, $[F(\text{opt})]$ 是来自等式(19)的最优插入器而 $[V]$ 是信道状态矢量。每个数据符号有一个这样的操作, 如果

1. $[W(i)]$ 是第 i 个数据符号的信道估值;
2. $r(i)$ 是第 i 个数据符号的接收信号; 和
3. $[S(i)] = [S(i), \dots, S(i-L)]$ 是等式8定义的数据矢量,

那么, 该最优译码器可选择数据矢量 $[S] = [S(L+1), \dots, S(M-L-1)]$ 使以下表达式最小:

$$D([S]) = \sum_{i=L+1}^{M-L-1} |r(i) - [S(i)][W(i)]|^2 \quad (21)$$

其中 $r(i)$ 是第 i 个接收到的数据符号, $[W(i)]$ 是第 i 个接收数据符号的插入信道脉冲响应, M 是每个帧中数据符号和引示符号的总个数, L 是该接收信号的信道脉冲响应的时间长度。执行该功能的最优译码器最好是 Viterbi 译码器, 但降低复杂型, 例如执行 M 算法(如下文所讨论)的一种可用在该最佳实施例中以减小处理开销。

根据以上理论上的推导, 显然, 两个不同时刻 $R_{HH}(K, m)$ 的信道

状态矢量之间的相关取决于多普勒频率或衰减率，两个衰减过程中每一个的功率（或SNR）、所接收信号之间规范化传播延迟差、以及两种传播路径（在同时广播的传呼应用中）之间的频率偏移。由于等式（19）中的最优插入器 $[F_{opt}]$ 取决于相关度 $R_{HH}(K, m)$ ，显然，本发明所用的最优插入器也取决于这些预定义的信道参数。

总的来说，在本申请中所使用的用以插入信道脉冲响应加到被处理帧的数据符号的最优插入器是通过考虑信道特性而确定的，其确定包含6个步骤：（1）根据发送/接收脉冲形状以及多路信道期望的最大延迟差（限定为考虑处理效率和时间）来确定离散时间信道 L 的存储器；（2）根据为 L 所选的值，例如使用表格1所示序列之一确定一个最优引示符号序列；（3）使用所选引示符号序列，如上所说明确定矩阵 $[P]$ 、 $[Q]$ 、 $[R(e)]$ 和 $[M(i)]$ ；（4）根据 L 的数值，确定传输中使用的脉冲形状，无线电信道中信号传播的期望（或最差）路径数，信道状态矢量的每一个分量的精确表达式；（5）根据期望（或最差）多普勒频率，到达接收机不同线中期望（或最差）的信号强度分布以及从上述步骤获得的结果来确定任意两个信道状态矢量之间的相关，如等式13所指示；以及（6）使用在前面步骤计算出的相关矩阵和第三步骤计算出的矩阵，确定给定数据符号的最优插入器。

为确定在前面确定最优插入器过程中使用的信道特性，可为预定义条件建立信道模型，或根据基于已知信号传播因子的模型来确定最差条件。一旦定义了用于确定最优插入器的限制条件或预定义信道参数，这些限制便存储到DSP36现成存储器中以便被插入器块92所使用，确定加到每个连续数据符号的适当的插入信道脉冲响应估值作为这些信道脉冲响应估值的函数和前面的及后面的引示符号块的函数。

除了等式20定义的最优插入器，多项式插入器也可用于信道估值。这些多项式插入器的阶数简单地就是初始信道估值处理中所用的引

示符号块 K 的个数。由于 K 取决于衰减频谱的模型和最大多普勒频率 f_d ，该多项式插入器也是信道特性的函数。当使用这些多项式插入器时，可独立插入信道脉冲响应的不同分量。

译码器106通过判定以上等式(21)定义的表达式 $D([s])$ 的最小值从一组可能的数据矢量 $[S]$ 值中选择每个数据符号的数据矢量。为求出 $D([S])$ 表达式的最小值，通常使用传统的Viterbi译码算法。该Viterbi译码器的复杂程度可能很高。例如，在以上表达式中，若 $S(i)$ 为4线，(即对QPSK调制)以及如果信道存储量为6个符号($L=6$)则Viterbi译码器中状态数为4096(4^6)，对Viterbi译码器每个数据符号需要16384(4×4^6)个平方距离计算。在20000波特的数据速率下，每秒需作327百万次平方距离的计算。显然，实时计算这许多参数是不可行的。然而，已开发出好几种算法来降低该Viterbi算法的复杂度。M算法便是这样一种降低复杂度的算法，该算法使表达式最小只保留集合 $[S]$ 的 M 个状态。如保留128个状态，对QPSK需要每个数据符号最大数为512(4×128)个平方距离的计算。20000波特数据速率每秒需最大为10.24百万个平方距离计算，这对目前可用的处理器是更为实际可得到的处理负荷。减少保持的状态数可进一步减少所需计算数，这样该算法的处理需求可适合于处理器能力。

该Viterbi算法理论上是最优因它始终选择具有最小二乘方误差的集合 $[S]$ 。相反，M算法是次最优的，因为它不能始终选择是最小二乘方误差的集合 $[S]$ ，然而，M算法的性能接近于Viterbi算法，而只需很小的处理功率。由于这些原因，该最佳实施例使用降低复杂度的M算法来实现Viterbi译码器。

作为一种可供选择的方案，译码器106可包含后接判定装置的均衡器。在本发明的一种最佳可选形式中，使用判定反馈均衡器。也可考虑采用基准符号均衡器取代或与该判定反馈均衡器组合来实现译码

功能。

与使用引示符号来补偿衰减的现有技术相比较，本发明的优点通过比较图9和图10是明显的。在图9中，本发明背景部分所述现有技术系统用于对衰减和干扰进行补偿。在该现有系统中，并无为根据期望的或最差条件信道特性进行信道脉冲响应估值的插入配置。结果，对两个 $25\mu s$ 衰减信号间的均方根延迟传播以及30dB的SNR比而言期望的BER大约为 1×10^{-1} 。在比较中，如图10所示，本发明提供大约为 10^{-5} 的BER。同样显然的是，至少在所示的有限范围的均方根延迟传播中，BER随均方根延迟的增加而减小，这与现有技术相反，在现有技术中，BER随均方根延迟传播增大而增大。

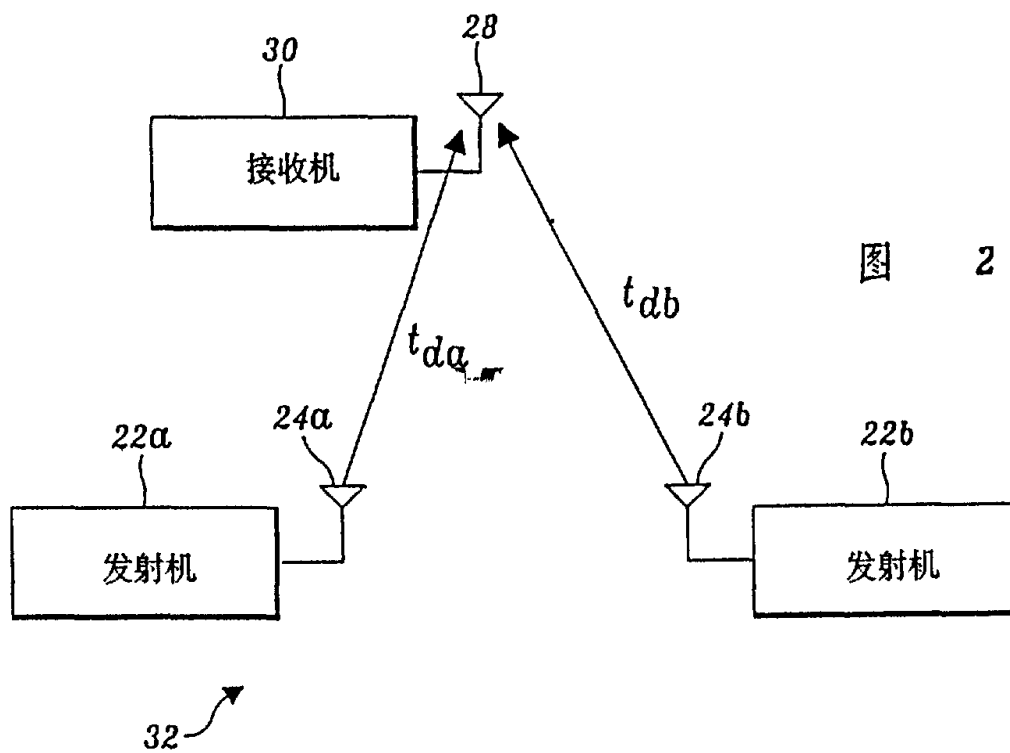
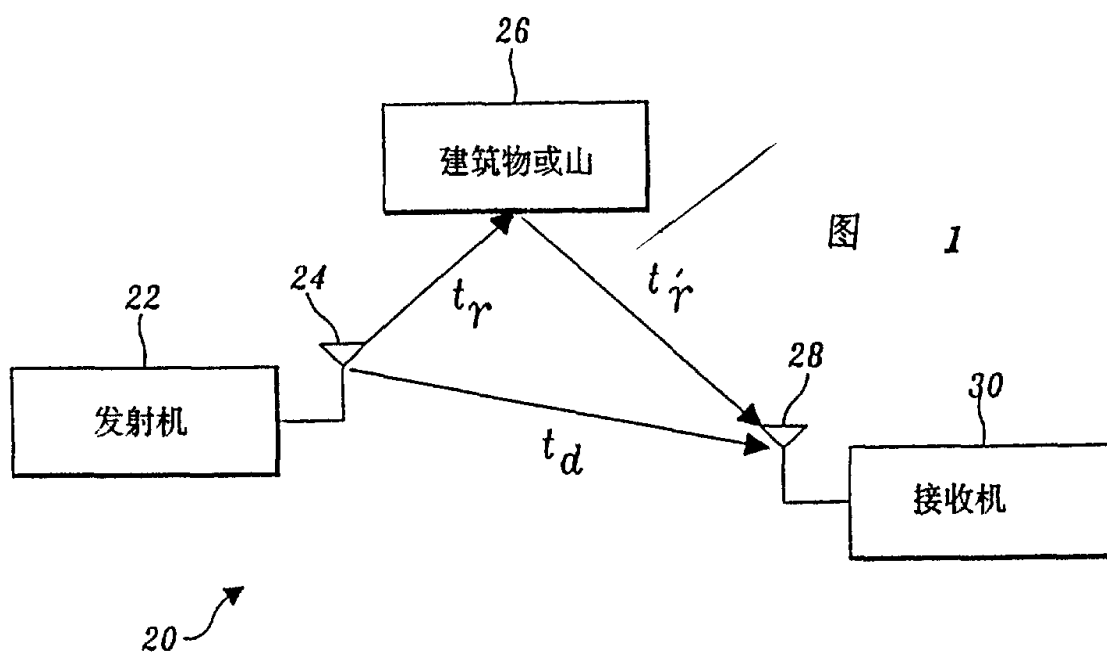
在图7的流程图190中表明为对相继帧中带多个引示符号的发送信号进行编码，发射机42所执行的逻辑步骤。流程图190起始于开始框192，进到框194，从输入信号中获得数据的附加块。在框196中，将一组引示符号附加到数据符号以形成一帧。然后在框198中由发射机42对该帧进行调制。判定框200判定有无更多数据，即，是否还存在输入数据来采样和调制，如是，测返回到框194，输入附加数据。如否，则逻辑进到停止框202。

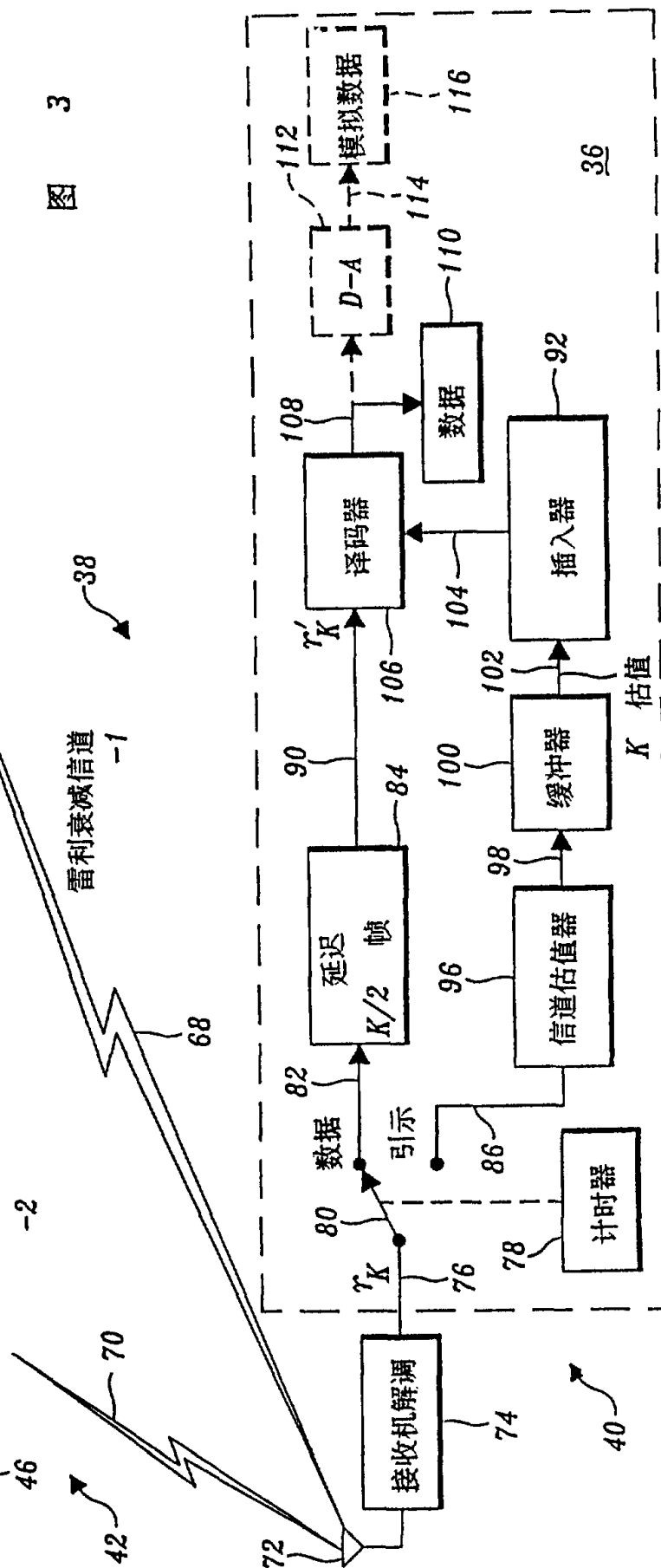
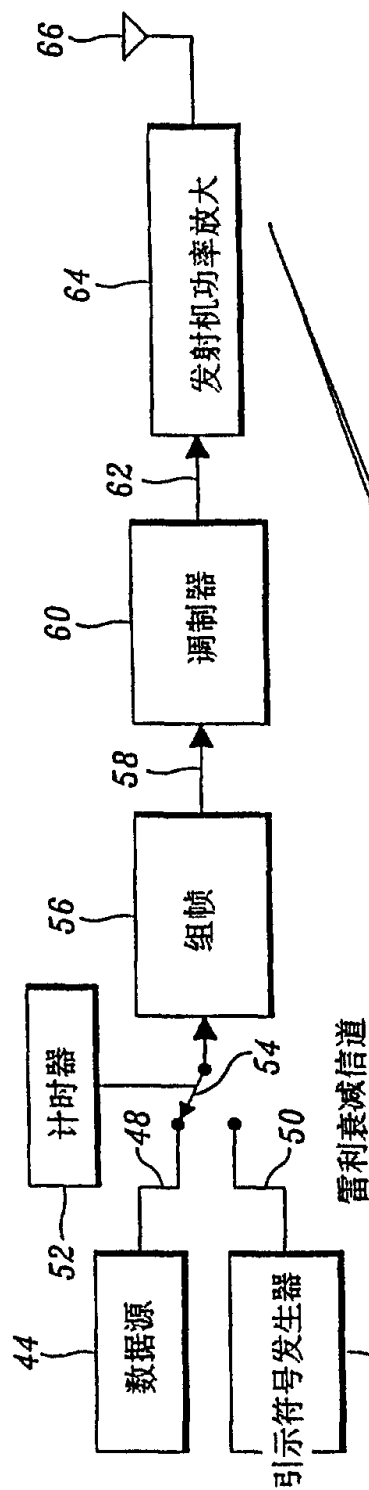
在图8中，流程图210表明接收机40处理所接收信号时所执行的步骤，所述接收信号受到可能由于或者多路经干扰和/或同时广播干扰而简单衰减或衰落的影响。从开始框212，逻辑进到框214，对接收到信号解调。此后，框216将每一帧中的所接收引示符号从数据符号中分离出来产生相应引示信号和数据信号。

在框218中，将数据信号延迟 $K/2$ 帧。然后引示信号在框220中被处理以确定信道脉冲响应估值。框222缓冲信道脉冲响应估值，提供暂时存贮，允许使用来自正处理的数据符号当前帧之前和之后帧的引示符号插入引示信号。

然后框224如上所述插入信道脉冲响应估值，以便确定适当的插入信道脉冲响应估值，加到正处理帧的每个数据符号上。在框226中，通过用插入信道脉冲响应估值对延迟数据的处理来对数据译码，所述估值应适当地加到该帧每个连续数据符号上。判定框228判定是否还有数据要处理，如果否，进至框236，中止处理。否则，逻辑进到框230，用下一帧的数据符号刷新该延迟的数据信号。框232则对该帧刷新信道脉冲响应估值，而框234从框216开始处理的接收信号中获得一个新帧。

尽管已示出并描述了本发明最佳实施例，但应理解在不偏离本发明精神和范围情况下可能作出各种各样修改。未包含在本发明上述实施例中的性能由所附权利要求书确定。





3

11

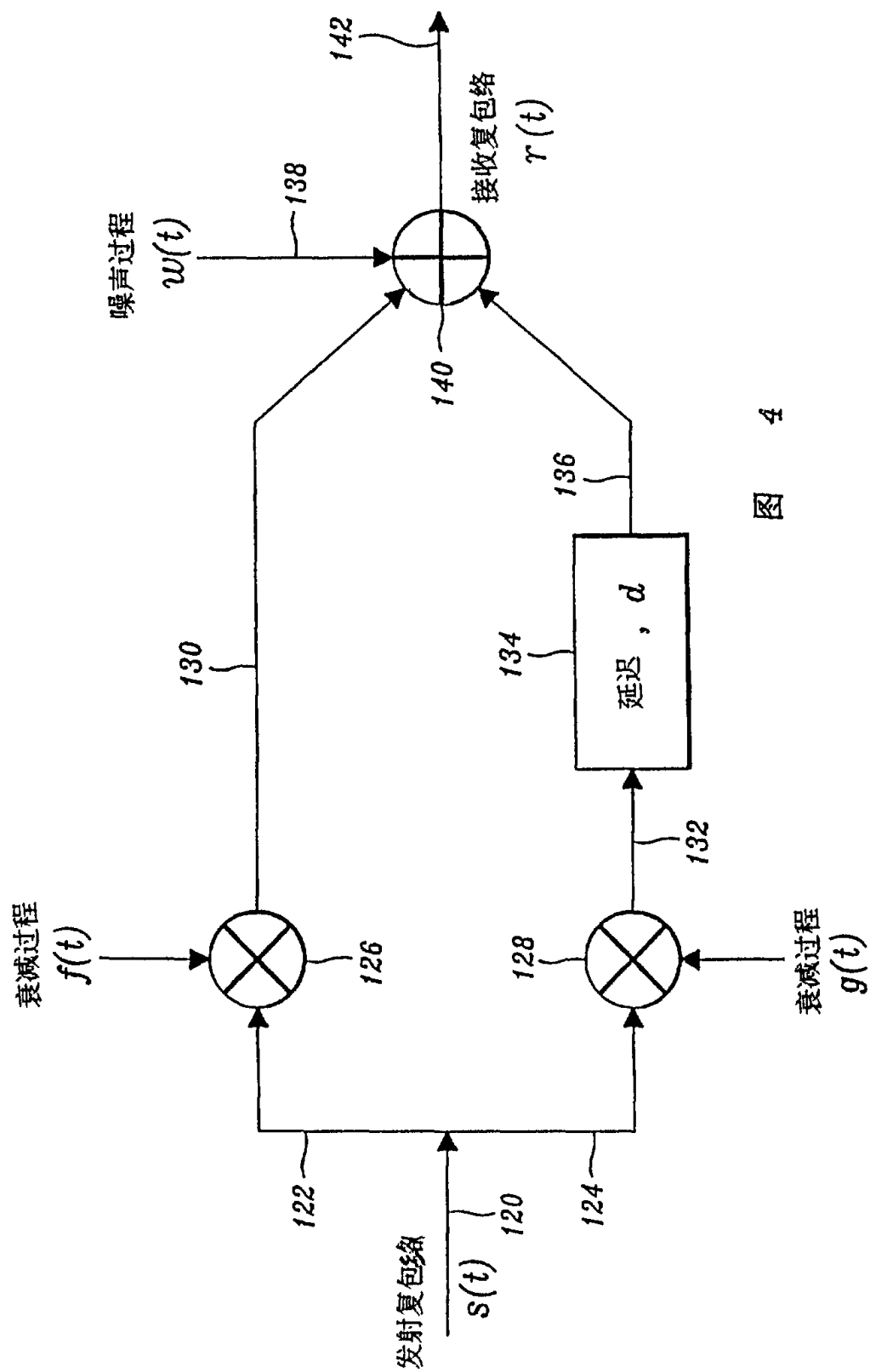


图 4

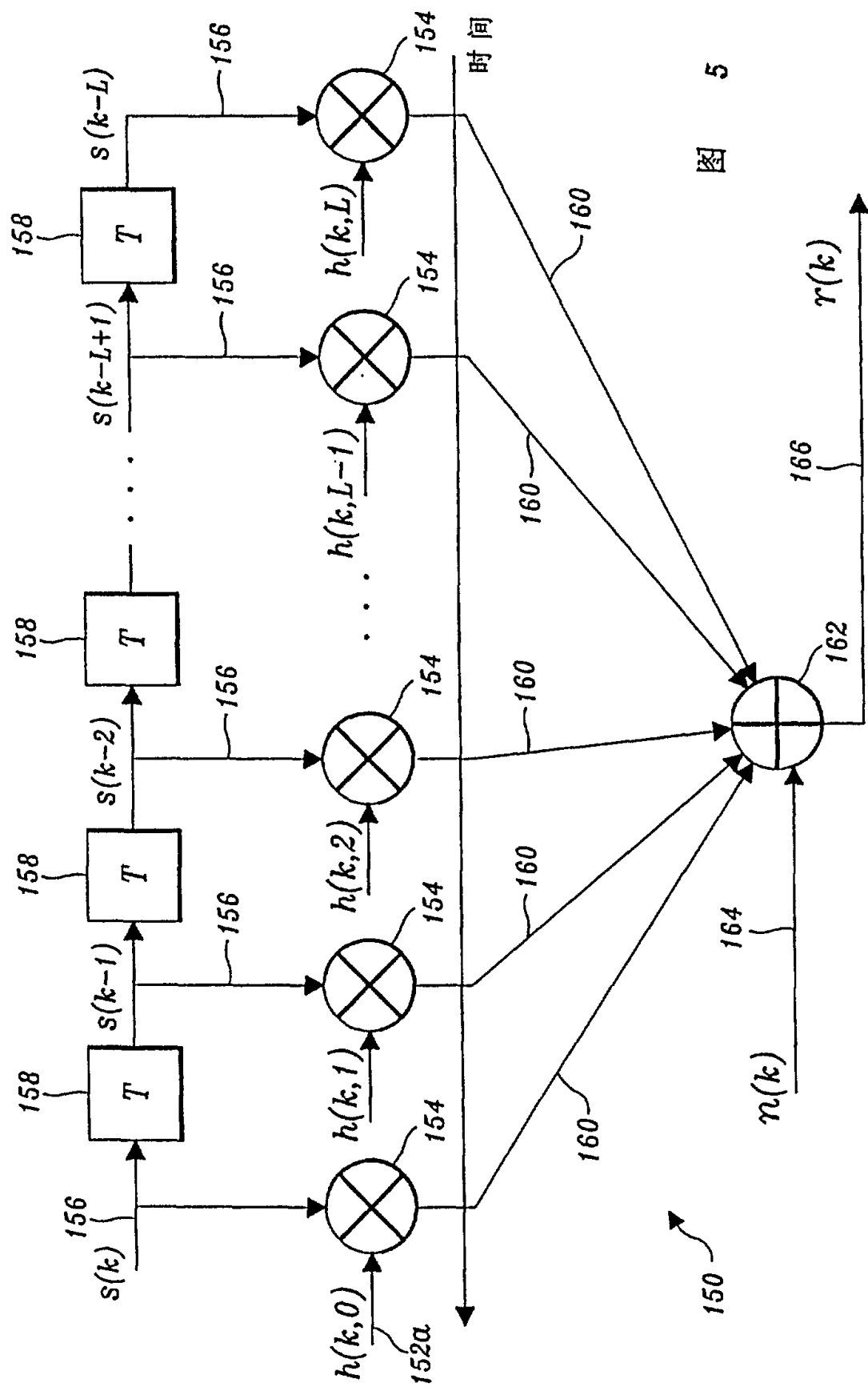


图 5

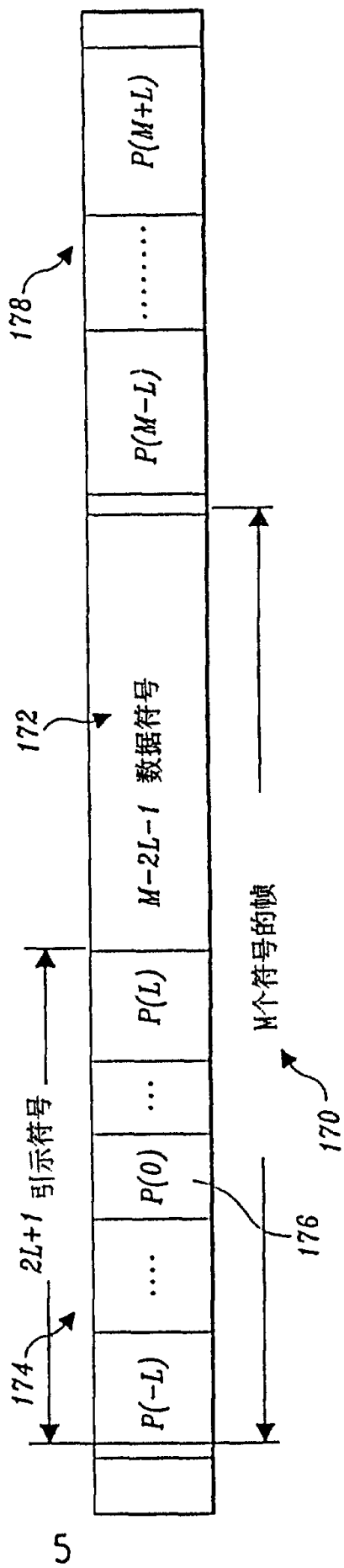
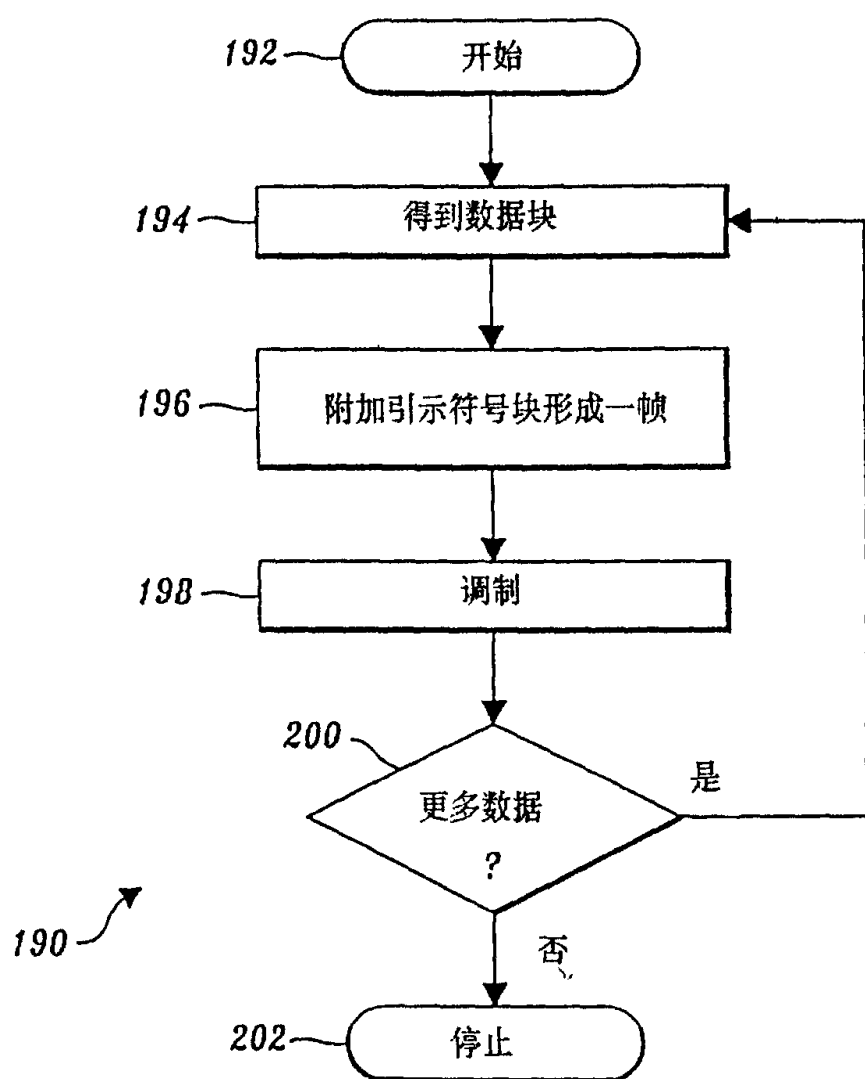


图 6

图 7



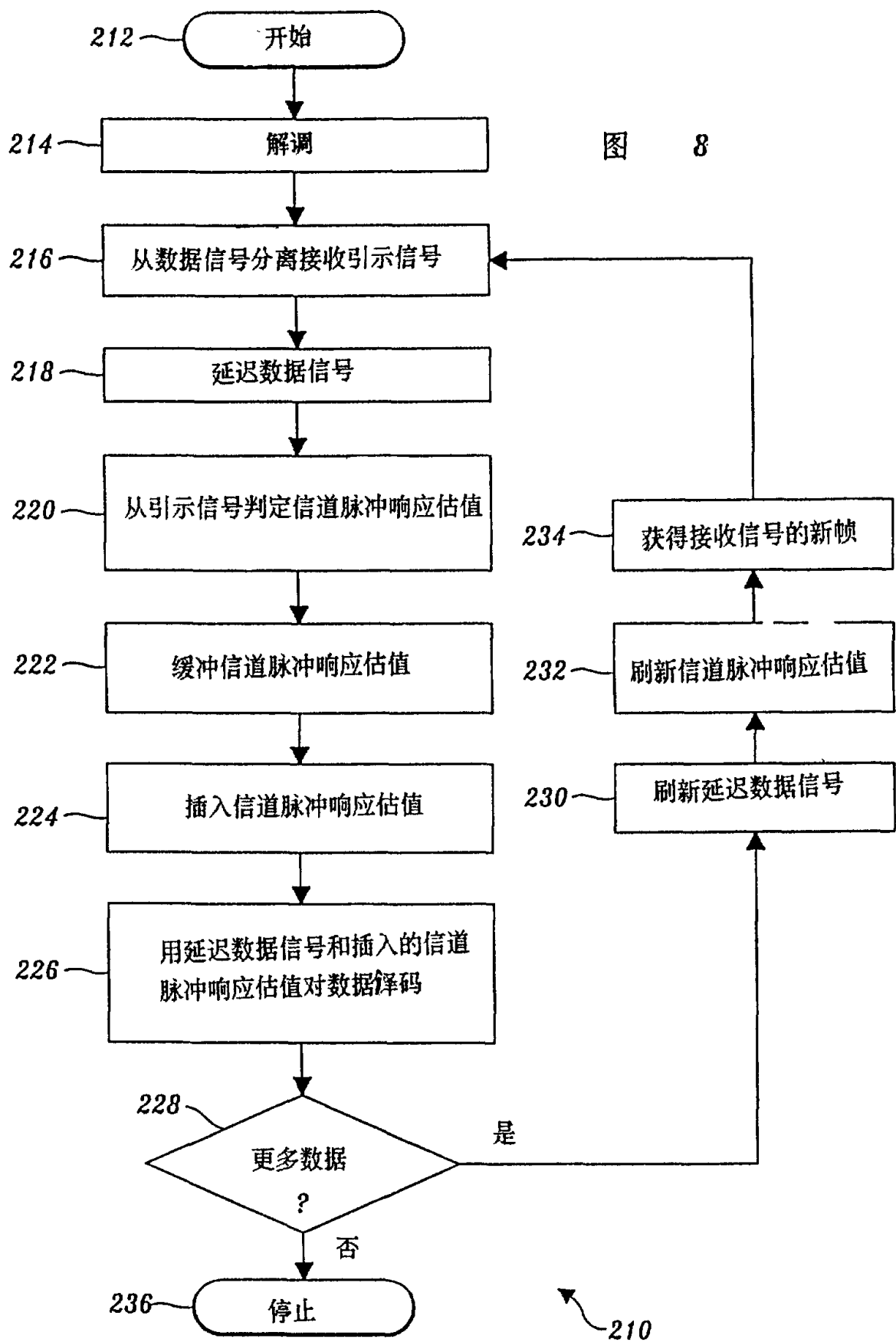


图 9

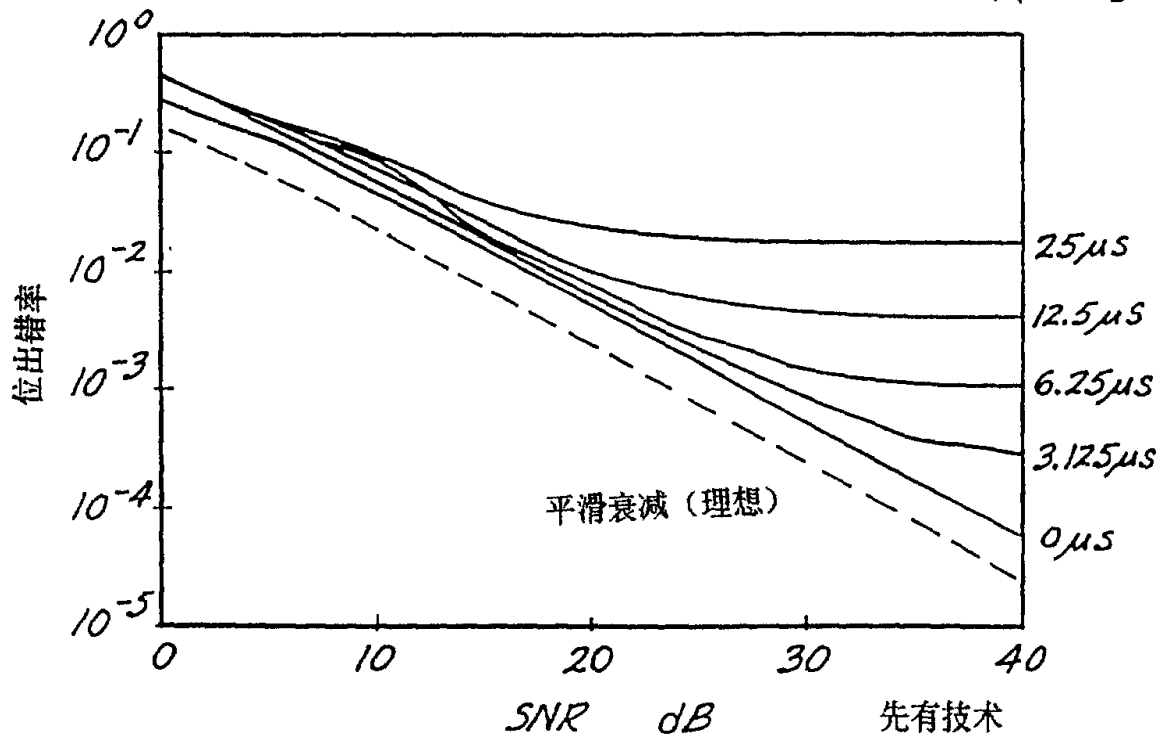


图 10

