

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G06F 15/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03819728.6

[45] 授权公告日 2010 年 2 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 100592279C

[22] 申请日 2003.8.15 [21] 申请号 03819728.6
[30] 优先权
[32] 2002.8.20 [33] US [31] 60/404,561
[86] 国际申请 PCT/US2003/025555 2003.8.15
[87] 国际公布 WO2004/019159 英 2004.3.4
[85] 进入国家阶段日期 2005.2.21
[73] 专利权人 美商内数位科技公司
地址 美国特拉华州
[72] 发明人 关杰勇 约翰·W·海姆
艾利拉·莱尔 潘俊霖
[56] 参考文献
US20030021335A1 2003.1.30
US20030026325A1 2003.2.6
审查员 郝 巍

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 陈 亮

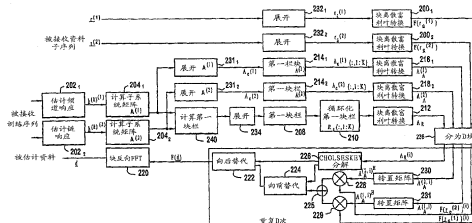
权利要求书 12 页 说明书 20 页 附图 8 页

[54] 发明名称

侦测来自以码分多址通信格式的数据信号的数据的设备及方法

[57] 摘要

K 个数据或丛发是以码分多址通信格式于共享频谱来传输。组合信号是以享频谱来接收及采样当做数个被接收向量版本。组合信号是包括 K 个被传输数据信号。使用码及 K 个数据信号被估计脉冲响应的数个系统矩阵及相关协方差矩阵是被产生。各系统矩阵是对应于接收向量版本。系统及协方差矩阵是被展开及逼近为块循环矩阵。各个展开及逼近系统及协方差矩阵的对角矩阵是通过不需矩阵分割的主因子演算 - 快速富利叶转换 (PFA - FFT) 来决定。被接收向量版本是被展开。对角矩阵及被展开的被接收向量版本的乘积是被执行。反向块分离富利叶转换是通过该乘积结果的快速富利叶转换来实施以产生 K 个数据信号的被估计数据。



1. 一种用于侦测数据的方法，所述数据来自以码分多址通信格式中于共享频谱所接收的K个数据信号，该方法包含：

通过共享频谱接收及采样组合信号当做数个接收向量版本，该组合信号是包括K个数据信号；

使用码及K个数据信号的脉冲响应来产生数个系统矩阵及相关协方差矩阵，各系统矩阵是对应于接收向量版本；

展开及逼近该系统及协方差矩阵当做块循环矩阵；

使用该逼近系统及协方差块循环矩阵的块栏来决定各该逼近系统及协方差块循环矩阵的对角矩阵；

展开及执行各个接收向量版本的富利叶转换以产生展开的接收向量版本；

执行该对角矩阵及该展开的接收向量版本的乘积；

加总该乘积；及

使用反向富利叶转换及该加总的乘积来估计该K个数据信号的数据。

2. 权利要求1所述的该方法，其中该富利叶转换是使用主因子算术快速富利叶转换来执行。

3. 权利要求1所述的该方法，其中各个接收向量版本是对应于不同接收天线。

4. 权利要求1所述的该方法，其中该组合信号是以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同码片速率倍数。

5. 权利要求1所述的该方法，其中包括该K个数据信号的所述组合信号是通过数个天线所接收且以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同天线及码片速率倍数组组合。

6. 权利要求1所述的该方法，进一步包含将该对角矩阵分为数个部份。

7. 权利要求1所述的该方法，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行LU分解，前向替代及后向替代。

8. 权利要求1所述的该方法，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行Cholesky分解，前向替代及后向替代。

9. 权利要求1所述的该方法，还包括在该协方差矩阵的该对角上执行LU分解和Cholesky分解其中之一。

10. 一种用于侦测数据的用户设备，所述数据来自以码分多址通信格式于共享频谱上所接收的K个数据信号，该用户设备包含：

通过共享频谱接收及采样组合信号当做数个接收向量版本的设备，该组合信号是包括K个数据信号；

使用码及K个数据信号的脉冲响应来产生数个系统矩阵及相关协方差矩阵的设备，各系统矩阵是对应于接收向量版本；

展开及逼近该系统及协方差矩阵当做块循环矩阵的设备；

使用该逼近系统及协方差块循环矩阵的块栏来决定各该逼近系统及协方差块循环矩阵的对角矩阵的设备；

展开及执行各个接收向量版本的富利叶转换以产生展开的接收向量版本的设备；

执行该对角矩阵及该展开的接收向量版本的乘积的设备；

加总该乘积的设备；及

使用反向富利叶转换及该加总的乘积来估计该K个数据信号的数据的设备。

11. 权利要求10所述的该用户设备，其中该富利叶转换是使用主因子算

术快速富利叶转换来执行。

12. 权利要求10所述的该用户设备，其中各个接收向量版本是对应于不同接收天线。

13. 权利要求10所述的该用户设备，其中该组合信号是以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同码片速率倍数。

14. 权利要求10所述的该用户设备，其中包括该K个数据信号的所述组合信号是通过数个天线所接收且以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同天线及码片速率倍数组合。

15. 权利要求10所述的该用户设备，进一步包含将该对角矩阵分为数个部份的设备。

16. 权利要求10所述的该用户设备，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行LU分解，前向替代及后向替代。

17. 权利要求10所述的该用户设备，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行Cholesky分解，前向替代及后向替代。

18. 权利要求10所述的该用户设备，还包括用于在该协方差矩阵的该对角上执行LU分解的装置。

19. 权利要求10所述的该用户设备，还包括用于在该协方差矩阵的该对角上执行Cholesky分解的装置。

20. 一种用于侦测数据的用户设备，所述数据来自以码分多址通信格式于共享频谱上所接收的K个数据信号，该用户设备包含：

天线及采样装置，通过共享频谱来接收组合信号当做数个接收向量版本采样，该组合信号是包括K个数据信号；

数个计算子系统矩阵块，其使用K个数据信号的脉冲响应来产生数个系统矩阵，各系统矩阵是对应于接收向量版本；

计算协方差矩阵块，用于产生与该系统矩阵相关的协方差矩阵；

数个展开块，用于展开该系统及协方差矩阵以产生展开的系统及协方差矩阵；

数个第一块栏，用于逼近该展开的系统及协方差矩阵当做块循环矩阵；

数个块富利叶转换装置，用于使用该逼近系统及协方差块循环矩阵的该块栏来决定各个逼近系统及协方差块循环矩阵的对角矩阵；

展开装置，用于展开各个接收向量版本以产生展开的接收向量版本；

块富利叶转换装置，用于执行各个展开的接收向量版本的富利叶转换；

数个相乘器，用于执行该对角矩阵及该展开的接收向量版本的富利叶转换的乘积；

加法器，用于加总该乘积；及

块反向富利叶转换装置，用于使用反向富利叶转换及该加总的乘积来估计该K个数据信号的数据。

21. 权利要求20所述的该用户设备，其中该富利叶转换是使用主因子算术快速富利叶转换来执行。

22. 权利要求20所述的该用户设备，其中各个接收向量版本是对应于不同接收天线。

23. 权利要求20所述的该用户设备，其中该组合信号是以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同码片速率倍数。

24. 权利要求20所述的该用户设备，其中包括该K个数据信号的组合信号是通过数个天线所接收且以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个

接收向量版本是对应于不同天线及码片速率倍数组组合。

25. 权利要求20所述的该用户设备，进一步包含将该对角矩阵分为数个部份的分割装置。

26. 权利要求20所述的该用户设备，进一步包含可执行该协方差矩阵的该对角上的LU分解的LU分解装置，及可产生估计的数据向量的反向富利叶转换的前向替代及后向替代装置。

27. 权利要求20所述的该用户设备，进一步包含可执行该协方差矩阵的该对角上的Cholesky分解的Cholesky分解装置，及可产生估计的数据向量的反向富利叶转换的前向替代及后向替代装置。

28. 一种用于侦测数据的基站，所述数据来自以码分多址通信格式于共享频谱所接收的K个数据信号，该基站包含：

通过共享频谱来接收及采样组合信号当做数个接收向量版本的设备，该组合信号是包括K个数据信号；

使用码及K个数据信号的脉冲响应来产生数个系统矩阵及相关协方差矩阵的设备，各系统矩阵是对应于接收向量版本；

展开及逼近该系统及协方差矩阵当做块循环矩阵的设备；

使用该逼近系统及协方差块循环矩阵的块栏来决定各该逼近系统及协方差块循环矩阵的对角矩阵的设备；

展开及执行各个接收向量版本的富利叶转换以产生展开的接收向量版本的设备；

执行该对角矩阵及该展开的接收向量版本的乘积的设备；

加总该乘积的设备；及

使用反向富利叶转换及该加总的乘积来估计该K个数据信号的数据的设备。

29. 权利要求28所述的该基站，其中该富利叶转换是使用主因子算术快速富利叶转换来执行。

30. 权利要求28所述的该基站，其中各个接收向量版本是对应于不同接收天线。

31. 权利要求28所述的该基站，其中该组合信号是以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同码片速率倍数。

32. 权利要求28所述的该基站，其中包括该K个数据信号的组合信号是通过数个天线所接收且以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同天线及码片速率倍数组组合。

33. 权利要求28所述的该基站，进一步包含将该对角矩阵分为数个部份的设备。

34. 权利要求28所述的该基站，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行LU分解，前向替代及后向替代。

35. 权利要求28所述的该基站，其中该估计该K个数据信号的数据是包含执行Cholesky分解，前向替代及后向替代。

36. 权利要求28所述的该基站，还包括用于在该协方差矩阵的该对角上执行LU分解的装置。

37. 权利要求28所述的该基站，还包括用于在该协方差矩阵的该对角上执行Cholesky分解的装置。

38. 一种用于侦测数据的基站，所述数据来自以码分多址通信格式于共

享频谱所接收的K个数据信号，该基站包含：

天线及采样装置，用于通过共享频谱来接收组合信号当做数个接收向量版本采样，该组合信号是包括K个数据信号；

数个计算子系统矩阵块，用于使用K个数据信号的脉冲响应来产生数个系统矩阵及相关协方差矩阵，各系统矩阵是对应于接收向量版本；

计算协方差矩阵块，用于产生与该系统矩阵相关的协方差矩阵；

数个展开块，用于展开该系统及协方差矩阵以产生展开的系统及协方差矩阵；

数个第一块栏，用于逼近该展开的系统及协方差矩阵当做块循环矩阵；

数个块富利叶转换装置，用于使用该逼近系统及协方差块循环矩阵的该块栏来决定各该逼近系统及协方差块循环矩阵的对角矩阵；

展开装置，用于展开各个接收向量版本以产生展开的接收向量版本；

块富利叶转换装置，用于执行各个展开的接收向量版本的富利叶转换；

数个相乘器，用于执行该对角矩阵及该展开的接收向量版本的富利叶转换的乘积；

加法器，用于加总该乘积；及

块反向富利叶转换装置，用于使用反向富利叶转换及该加总的乘积来估计该K个数据信号的数据。

39. 权利要求38所述的该基站，其中该富利叶转换是使用主因子算术快速富利叶转换来执行。

39. 权利要求38所述的该基站，其中各个接收向量版本是对应于不同接收天线。

40. 权利要求38所述的该基站，其中该组合信号是以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同码片速率倍数。

41. 权利要求38所述的该基站，其中包括该K个数据信号的组合信号是通

过数个天线所接收且以该K个数据信号的码片速率倍数来采样，且各个接收向量版本是对应于不同天线及码片速率倍数组组合。

42. 权利要求38所述的该基站，进一步包含将该对角矩阵分为数个部份的分割设备。

43. 权利要求38所述的该基站，进一步包含可执行该协方差矩阵的该对角上的LU分解的LU分解装置，及可产生估计的数据向量的反向富利叶转换的前向替代及后向替代装置。

44. 权利要求38所述的该基站，进一步包含可执行该协方差矩阵的该对角上的Cholesky分解的Cholesky分解装置，及可产生估计的数据向量的反向富利叶转换的前向替代及后向替代装置。

45. 一种用于在码分多址通信系统中接收通过共享频谱所接收的数个数据信号的方法，该方法包含：

接收及采样具有数个数据信号的组合信号来产生接收向量；

决定所接收的数个数据信号的信道响应；

使用该决定的信道响应及该接收的数据信号的码来决定系统响应矩阵；

使用该系统响应矩阵来决定协方差矩阵；

展开该接收向量，该系统响应矩阵及该决定的协方差矩阵以产生展开的接收向量，展开的系统响应矩阵以及展开的协方差矩阵；

执行该展开的协方差矩阵的块栏的块离散富利叶转换；

执行该展开的系统响应矩阵的块栏的块离散富利叶转换；

执行该展开的接收向量的块离散富利叶转换；及

使用该块离散富利叶转换来决定展开的数据向量。

46. 权利要求45所述的该方法，进一步包含分割该块离散富利叶转换。

47. 权利要求45所述的该方法，进一步包含于该块富利叶转换上执行LU分解。

48. 一种用于侦测数据的用户设备，所述数据来自以码分多址通信格式于共享频谱所接收的K个数据信号，该用户设备包含：

天线及采样装置，用于接收及采样具有所接收的数个数据信号的组合信号来产生接收向量采样；

信道估计装置，用于决定所接收的数个数据信号的信道响应；

计算块矩阵装置，用于使用该决定的信道响应及所接收的数据信号的码来决定系统响应矩阵；

计算协方差矩阵装置，用于使用该系统响应矩阵来决定协方差矩阵；

数个展开装置，用于展开该接收向量，该系统响应矩阵及该决定的协方差矩阵以产生展开的接收向量，展开的系统响应矩阵以及展开的协方差矩阵；

块离散富利叶转换装置，用于执行该展开的协方差矩阵的块栏的块离散富利叶转换；

块离散富利叶转换装置，用于执行该展开的系统响应矩阵的块栏的块离散富利叶转换；

块离散富利叶转换装置，用于执行该展开的接收向量的块离散富利叶转换；及

使用该块离散富利叶转换来决定展开的数据向量的电路。

49. 权利要求48所述的该方法，进一步包含分割该块离散富利叶转换的分割装置。

50. 权利要求48所述的该方法，其中该电路包含于该块富利叶转换上执行LU分解的LU分解装置。

51. 一种用于侦测数据的用户设备，所述数据来自以码分多址通信格式

于共享频谱所接收的K个数据信号，该用户设备包含：

接收及采样具有数个数据信号的组合信号来产生接收向量的装置；

决定所接收的数个数据信号的信道响应的装置；

使用该决定的信道响应及所接收的数据信号的码来决定系统响应矩阵的装置；

使用该系统响应矩阵来决定协方差矩阵的装置；

展开该接收向量，该系统响应矩阵及该决定的协方差矩阵以产生展开的接收向量，展开的系统响应矩阵以及展开的协方差矩阵的装置；

执行该展开的协方差矩阵的块栏的块离散富利叶转换的装置；

执行该展开的系统响应矩阵的块栏的块离散富利叶转换的装置；

执行该展开的接收向量的块离散富利叶转换的装置；及

使用该块离散富利叶转换来决定展开的数据向量的装置。

52. 权利要求51所述的该方法，进一步包含分割该块离散富利叶转换的分割装置。

53. 权利要求51所述的该方法，其中该用于决定展开的数据向量的装置是包含LU分解装置，该LU分解装置用于在该块富利叶转换上执行LU分解。

54. 一种用于侦测来自以码分多址通信格式于共享频谱所接收的K个数据信号的数据的基站，该基站包含：

天线及采样装置，用于接收及采样具有数个数据信号的组合信号来产生接收向量采样；

信道估计装置，用于决定数个接收的数据信号的信道响应；

计算块矩阵装置，用于使用该决定的信道响应及该接收的数据信号的码来决定系统响应矩阵；

计算协方差矩阵装置，用于使用该系统响应矩阵来决定协方差矩阵；

数个展开装置，用于展开该接收向量，该系统响应矩阵及该决定的协方差矩阵以产生展开的接收向量，展开的系统响应矩阵以及展开的协方差矩

阵;

块离散富利叶转换装置,用于执行该展开的协方差矩阵的块栏的块离散富利叶转换;

块离散富利叶转换装置,用于执行该展开的系统响应矩阵的块栏的块离散富利叶转换;

块离散富利叶转换装置,用于执行该展开的接收向量的块离散富利叶转换; 及

使用该块离散富利叶转换来决定展开的数据向量的电路。

55. 权利要求54所述的该方法, 进一步包含分割该块离散富利叶转换的分割装置。

56. 权利要求54所述的该方法, 其中该电路包含于该块富利叶转换上执行LU分解的LU分解装置。

57. 一种用于侦测数据的基站, 该数据来自以码分多址通信格式于共享频谱所接收的K个数据信号, 该基站包含:

接收及采样具有数个数据信号的组合信号来产生接收向量的装置;

决定该数个接收的数据信号的信道响应的装置;

使用该决定的信道响应及该接收的数据信号的码来决定系统响应矩阵的装置;

使用该系统响应矩阵来决定协方差矩阵的装置;

展开该接收向量, 该系统响应矩阵及该决定的协方差矩阵以产生展开的接收向量, 展开的系统响应矩阵以及展开的协方差矩阵的装置;

执行该展开的协方差矩阵的块栏的块离散富利叶转换的装置;

执行该展开的系统响应矩阵的块栏的块离散富利叶转换的装置;

执行该展开的接收向量的块离散富利叶转换的装置; 及

使用该块离散富利叶转换来决定展开的数据向量的装置。

58. 权利要求57所述的该方法，进一步包含分割该块离散富利叶转换的分割装置。

59. 权利要求57所述的该方法，其中该用于决定被展开数据向量的装置是包含于该块富利叶转换上执行LU分解的LU分解装置。

侦测来自以码分多址通信格式的数据信号的数据 的设备及方法

背景技术

图1为无线通信系统10。通信系统10具有与用户设备(UEs)14₁至14₃(14)通信的基站12₁至12₃(12)。各基站12具有相关操作领域,其与用户设备14通信于其操作领域。

如使用码分多址的分频双工(FDD/CDMA)及使用码分多址的分时双工(TDD/CDMA)的某些通信系统中,多重通信是以相同频谱来传输。这些通信是被其信道化码来区分。为更有效使用频谱,使用码分多址的分时双工通信系统是使用被分为时隙的重复框来通信。被传输于该系统中的通信是具有一个或多重相关码及被指派至其的时隙。

因为多重通信可以相同频谱来传输,所以同时间该系统中的接收器必须于多重通信间分辨。侦测该信号的一法是为多重用户侦测(MUD)。多重用户侦测中,与所有用户设备14相关的信号是被同时侦测。针对使用码分多址的分时双工通信系统,热门多重用户侦测技术的一是为使用块线性均衡器(BLE-JD)的联合侦测技术。实施块线性均衡器的技术是包括使用Cholesky或逼近Cholesky分解。这些方法具有高复杂性。该高复杂性导致功率消耗增加,其于用户设备14上导致电池寿命下降。

于是,预期具有有效计算方法来侦测被接收数据。

发明内容

K个数据或丛发是以码分多址通信格式于共享频谱来传输。组合信号是以享频谱来接收及采样当做数个接收向量版本。组合信号是包括K个数据信号。使用码及K个数据信号被估计脉冲响应的数个系统矩阵及相关协方差矩阵是被产生。各系统矩阵是对应于接收向量版本。将系统及协方差矩阵展开

及逼近为块循环矩阵。各个展开及逼近的系统及协方差矩阵的对角矩阵是通过不需矩阵分割的主因子演算-快速富利叶转换(PFA-FFT)来决定。展开接收向量版本。对角矩阵及展开的接收向量版本的乘积是被执行。反向块分离富利叶转换是通过该乘积结果的快速富利叶转换来实施以产生K个数据信号的估计数据。

附图说明

图1为无线通信系统。

图2为简化发送器及高效联合侦测接收器。

图3为通信丛发。

图4A图4B为高效联合侦测较佳实施例的流程图。

图5为标示被展开处理领域的数据丛发。

图6为高效联合侦测较佳实施例的块状图。

图7为具有多重天线的简化接收器。

图8为使用部分采样来采样该被接收信号的简化接收器。

图9为具有多重天线及使用部分采样的简化接收器。

图10为用于部分采样或分散接收的高效联合侦测较佳实施例块状图。

具体实施方式

虽然高效联合侦测适用于如使用码分多址的分频双工的其它系统，图2仍描绘使用分时多重存取的分频双工通信系统中使用高效联合侦测的简化发送器26及接收器28。典型系统中，发送器26是位于各用户设备14中，而传输多重通信的多重传输电路26是位于各基站12中。联合侦测接收器28可位于基站12，用户设备14或两者中。

发送器26以无线电信道30传输数据。发送器26中的数据产生器32可产生被通信至接收器28的数据。调变/展开/训练序列插入装置34可以适当码展开数据并以适当指派时隙中的中步训练序列来分时传输展开参考数据而产生

通信丛发或丛发。如图3所示，典型通信丛发16是具有中步20，守护期间18及两数据域22，24。中步20可分离两数据域22，24，而守护期间18可分离通信丛发促使被传输自不同发送器26的丛发抵达时间差异。两数据域22，24是包含通信丛发数据。

通信丛发是被调变器36调变为射频(RF)。天线38可经由无线电信道30发送射频信号至接收器28的天线40。被用来传输通信的调变类型是可为熟练技术人士熟知的任何者，如正交相位变换调变(QPSK)或M-ary正交振幅调变(QAM)。

接收器28的天线40可接收各种无线频率信号。被接收信号是被解调器42解调来产生基频信号。基频信号是通过如一个或数个模拟数字转换器的采样装置43以被传输丛发码片率采样。该采样是通过如信道估计装置44及高效联合侦测装置46处理于时隙中及被指派至被接收丛发的适当码。信道估计装置44可使用基频样本中的中步训练序列组成以提供如信道脉冲响应的信道信息。信道信息是被高效联合侦测装置46用来估计当做软符号的该被接收通信丛发的被传输数据。

高效联合侦测装置46可使用被信道估计装置44所提供的信道信息及发送器26所使用已知展开码来估计预期被接收通信丛发数据。

虽然高效联合侦测是使用第三代合作计画(3GPP)全球地面无线存取(UTRA)分时双工系统当做标的通信系统来解释，其可应用至其它系统。该系统为直接序列宽频码分多址(W-CDMA)系统，其上行及下行传输是被限制为互斥时隙。

接收器28可接收同时抵达于一观察区间内的总K个丛发针对。针对第三代合作计画全球地面无线存取分时双工系统，时隙的各数据域是对应于一观察区间。针对分频双工码分多址系统，被接收信号是为连续，也就是不为丛发。为了处理连续信号，分频双工系统可于应用联合侦测的前将被接收信号分为时间区段。

被用于 k^{th} 丛发的码是被表示为 $c^{(h)}$ 。K个丛发可产生自K个不同发送器或

用于非K个不同发送器的多重码传输。

通信丛发的各数据域具有被传输符号预定数 N_s 。各符号是使用展开因子 Q 的码片预定数来传输。于是，各数据域具有 $N_s \times Q$ 码片。通过可产生达 $W-1$ 码片的延迟展开的无线信道后，接收器处的观察区间是为 $Q \times N_s + W-1$ 码片。

当作信道响应向量 $\underline{h}^{(k)}$ 及对应展开码 $\underline{c}^{(k)}$ 的回旋的符号响应向量 $\underline{b}^{(k)}$ 是被表示于方程式1。

$$\underline{b}^{(k)} = \underline{h}^{(k)} \circ \underline{c}^{(k)} \quad \text{方程式1}$$

$\circ$ 表示为回旋操作数。 $\underline{b}^{(k)}$ 长度为 $SF+W-1$ 。

使用符号响应向量，系统矩阵 A 是被定义于方程式2。

$$A^{(m)} = \begin{bmatrix} \begin{array}{ccc} \begin{array}{|c|} \hline B \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline B \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline B \\ \hline \end{array} \\ \hline & \ddots & \\ \hline & & \begin{array}{|c|} \hline B \\ \hline \end{array} \end{array} \quad \text{方程式2}$$

矩阵大小为 $(N_s \cdot SF + W - 1) \times N_s \cdot K$ 。 A 为块Topleitz矩阵。

块 B 是被定义为方程式3。

$$B = [\underline{b}^{(1)} \underline{b}^{(2)} \cdots \underline{b}^{(k)}] \quad \text{方程式3}$$

以码片率采样的被接收向量是可被方程式4表示。

$$\underline{r} = A\underline{d} + \underline{n} \quad \text{方程式4}$$

向量 $\underline{r}$ 大小为 $(N_s \cdot SF + W - 1)$ 乘1。此尺寸是对应于该观察区间。

$N_s \cdot K$ 乘1大小的数据向量 $\underline{d}$ 是具有方程式5的型式。

$$\underline{d} = [\underline{d}_1^T \underline{d}_2^T \cdots \underline{d}_{N_s}^T]^T \quad \text{方程式5}$$

K 乘1大小的子向量 $\underline{d}_n$ 是由各用户的 n^{th} 符号组成被方程式6定义。

$$\underline{\mathbf{d}}_n = [\underline{\mathbf{d}}_n^{(1)} \underline{\mathbf{d}}_n^{(2)} \cdots \underline{\mathbf{d}}_n^{(K)}]^T, \quad n=1, \dots, N_s \quad \text{方程式6}$$

大小为 $(N_s \cdot SF + W - 1)$ 乘 1 的向量 $\underline{\mathbf{d}}$ 是为背景噪声向量且被假设为白色。

使用均方差值最小化 (MMSE) 解决定 $\underline{\mathbf{d}}$ 是被表示为方程式7。

$$\underline{\mathbf{d}} = \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{A}^H \mathbf{r}) \quad \text{方程式7}$$

$(.)^H$ 表示赫米特 (hermetian) 函数 (复杂共轭转置矩阵)。较佳均方差值最小化解的系统矩阵 $\mathbf{R}$ 的斜方差矩阵是被表示为方程式8。

$$\mathbf{R} = \mathbf{A}^H \mathbf{A} + \sigma^2 \mathbf{I} \quad \text{方程式8}$$

σ^2 为噪声斜方差通常可从信道估计装置44获得，而 $\mathbf{I}$ 为单位矩阵。

使用块循环逼近及使用主因子演算-快速富利叶转换 (PFA-FFT) 的块离散富利叶转换 (DFT)，方程式7中的 $\underline{\mathbf{d}}$ 是被决定为方程式9。

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{d}} &= \mathbf{F}(\mathbf{R}^{-1}) \mathbf{F}(\mathbf{A}^H \mathbf{r}) \\ &= \mathbf{F}^{-1}(\Lambda^{-1} \Lambda_A \mathbf{F}(\mathbf{r}_c)) \end{aligned} \quad \text{方程式9}$$

$\mathbf{F}(\cdot)$ 及 $\mathbf{F}^{-1}(\cdot)$ 是分别标示块离散富利叶转换及反向块离散富利叶转换。块对角矩阵 Λ 及 Λ_A 的导出是被接续叙述。除了直接解出方程式9的外，方程式9亦可使用 Λ 的主对角块的LU分解及前向及后向替代来解出。可替代是，方程式9亦可使用Cholesky分解来解出。

第4图为使用快速联合侦测来决定数据向量 $\underline{\mathbf{d}}$ 的较佳方法流程图。系统矩阵 $\mathbf{A}$ 是使用各丛发的被估计信道响应 $\underline{\mathbf{h}}^{(k)}$ 及展开码 $\underline{\mathbf{c}}^{(k)}$ 来决定，48。系统矩阵的斜方差矩阵 $\mathbf{R}$ 是被形成，49。系统矩阵 $\mathbf{A}$ 及其斜方差矩阵 $\mathbf{R}$ 是被展开块均方矩阵。展开 $\mathbf{A}$ 是为 $D \cdot Q$ 乘 $D \cdot K$ 大小，而展开 $\mathbf{R}$ 是分别为 $D \cdot K$ 乘 $D \cdot K$ 大小。D 是被挑选为方程式10。

$$D \geq \left\lceil N_s + \frac{W-1}{Q} \right\rceil \quad \text{方程式10}$$

两展开矩阵是被逼近为块循环矩阵 $\mathbf{A}_c$ 及 $\mathbf{R}_c$ ，50。因为 $\mathbf{A}$ 及 $\mathbf{R}$ 的展开，被接收向量 $\mathbf{r}$ 是通过插入零而被展开为 $D \cdot SF \times 1$ 大小的向量 $\mathbf{r}_c$ 。块对角矩阵 Λ 是通过执行使用 $\mathbf{R}_c$ 的第一块栏的主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转

换来决定, 52。匹配滤波 $F(A^H \underline{r})$ 的块离散富利叶转换是通过 $F(A_c^H \underline{r}_c)$ 来决定。其是执行使用 A_c 及 $\underline{r}_c$ 的主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转换来计算53。由于 Λ 及 Λ_A 的快对角结构, 块 $F(\underline{d})^{(i)}, i=1, \dots, D$, 是为 K 乘 1 大小的 $F(\underline{d})$ 。其是通过执行主对角块, Λ 之 $\Lambda^{(i)}$, LU 分解, $\Lambda^{(i)} = L^{(i)} U^{(i)}$, 前向替代, $L^{(i)} = \underline{y}^{(i)} = \Lambda_A^{(i)H} F(\underline{r}_c)^{(i)}$, 55, 及后向替代, $U^{(i)} [F(\underline{d})]^{(i)} = \underline{y}^{(i)}$, 56。 $L^{(i)}$ 为下三角矩阵。 $U^{(i)}$ 为上三角矩阵。 $\Lambda_A^{(i)}$ 为 Λ_A 中第 i 个主对角块 SF 乘 K 大小, 而 $F(\underline{r}_c)^{(i)}$ 为第 i 个块 $Q \times 1$ 大小。 Λ_A 为使用 A_c 第一栏的主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转换, 而 $F(\underline{r}_c)$ 为使用向量 $\underline{r}_c$ 的主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转换。被估计数据向量 $\underline{d}$ 是通过 $F(\underline{d})$ 的反向块离散富利叶转换来决定。

虽然方程式9为均方差值最小化为基础的解, 但快速联合侦测亦可被应用至其它方法上, 如方程式11所示的零强迫法。

$$\mathbf{R} \underline{\mathbf{d}} = (\mathbf{A}^H \mathbf{A}) \underline{\mathbf{d}} = \mathbf{A}^H \underline{\mathbf{r}} \quad \text{方程式11}$$

如方程式11所示, 零强迫解中, $\sigma^2 I$ 项是从方程式8被删除。虽然类似偏移可被用于零强迫解, 但以下为均方差值最小化解的偏移。

为了降低决定 $F(A^H \underline{r})$ 的复杂性, 执行 A 的使用块 Topleitz 结构优点的使用主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转换是可被显示于方程式2。首先, 重复B, 我们可展开 A 至 $D \cdot Q$ 乘 $D \cdot K$ 的块均方矩阵大小来使用所有观察区间中的码片符号。被展开 A 是被逼近为块循环矩阵 A_c 。

A_c 可被分解为方程式12所示的三个矩阵。

$$\mathbf{A}_c = \mathbf{F}_{(Q)}^H \mathbf{\Lambda}_A \mathbf{F}_{(K)} \quad \text{方程式12}$$

$F_{(n)} = F \otimes I_n$ 为使用 $D \cdot n$ 乘 $D \cdot n$ 大小的使用主因子演算-快速富利叶转换的块离散富利叶转换。 $\otimes$ 表示 kronecker 乘积。 I_n 为 $n \times n$ 大小的单元矩阵, 而 F 为 $D \times D$ 大小的块离散富利叶转换矩阵, 其成分 f_{ii} , i 及 $1 = 1, 2, \dots, D$ 被表示于方程式13中。

$$f_{il} = \frac{1}{\sqrt{D}} \exp \left[-j \frac{2\pi i l}{D} \right] \quad \text{方程式13}$$

D为块离散富利叶转换长度，而 $F^H F = I$ ，I为D×D大小的单元矩阵。

块对角矩阵 Λ_A 为D•Q乘D•K大小且具有方程式14的型式。

$$\Lambda_A = \begin{bmatrix} \Lambda_A^{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \Lambda_A^{(2)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Lambda_A^{(D)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式14}$$

各其项 $\Lambda_A^{(i)}, i=1,2,\dots,D$ 是为Q乘K表示为方程式15。

$$\Lambda_A^{(i)} = \begin{bmatrix} \lambda_{1,1}^{(A,i)} & \cdots & \cdots & \lambda_{1,K}^{(A,i)} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \lambda_{Q,1}^{(A,i)} & \cdots & \cdots & \lambda_{Q,K}^{(A,i)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式15}$$

可替代是，主对角块 $\Lambda_A^{(i)}, i=1,2,\dots,D$ 可被计算表示为方程式16。

$$\left[\Lambda_A^{(1)^T} \quad \Lambda_A^{(2)^T} \quad \cdots \quad \Lambda_A^{(D)^T} \right]^T = \left(\mathbf{F}_{(Q)} \mathbf{A}_c(:, 1:K) \right) \quad \text{方程式16}$$

$A_c(:, 1:K)$ 表示为 A_c 的第一块栏。也就是说， $A_c \cdot F_{(SF)} A_c(:, 1:K)$ 的第一K栏可使用主因子演算-快速富利叶转换通过长度D的Q•K平行非块离散富利叶转换来计算。

由于A展开，被接收向量 $\underline{r}$ 亦通过插入零来展开，成为D•Q乘1的向量 $\underline{r}_c$ 。

使用上述， $F(A^H \underline{r})$ 是被逼近为 $F(A_c^H \underline{r}_c)$ 。其可被重写为方程式17。

$$F(\mathbf{A}_c^H \underline{\mathbf{r}}_c) = \mathbf{F}_{(K)}^H \Lambda_A^H \mathbf{F}_{(Q)} \underline{\mathbf{r}}_c \quad \text{方程式17}$$

大小的斜方差矩阵R是具有方程式18的块均方矩阵。

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_1^H & \cdots & \mathbf{R}_L^H & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \mathbf{R}_1 & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{R}_L & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \mathbf{R}_L & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & \mathbf{R}_L & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \mathbf{R}_L & \cdots & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \quad \text{方程式18}$$

L被定义为方程式19。

$$L = \left\lceil \frac{Q+W-1}{Q} \right\rceil \quad \text{方程式19}$$

于矩阵R中的各输入 $\mathbf{R}_i$ ，是为 $K \times K$ 大小区块，而0是为 $K \times K$ 大小零矩阵。

因为被展开的A的大小，矩阵R亦借着插入零而被展开为 $DK \times DK$ 大小。

被展开的R是被逼近为方程式20表示的 $D \times K$ 乘 $D \times K$ 大小的块循环矩阵 $\mathbf{R}_c$ 。

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_1^H & \cdots & \mathbf{R}_L^H & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_1 \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \mathbf{R}_1 & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \mathbf{R}_L & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \mathbf{R}_L \\ \mathbf{R}_L & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \mathbf{R}_L & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & \mathbf{R}_L & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{R}_L^H & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \mathbf{R}_L^H & 0 \\ \vdots & \mathbf{R}_L^H & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \mathbf{R}_L^H \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{R}_1^H & \mathbf{R}_2^H & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \mathbf{R}_L & \cdots & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \quad \text{方程式20}$$

块循环矩阵 $\mathbf{R}_c$ 是被分解为方程式21表示的三矩阵。

$$\mathbf{R}_c = \mathbf{F}_{(K)}^H \mathbf{\Lambda} \mathbf{F}_{(K)} \quad \text{方程式21}$$

$\mathbf{F}_{(K)} = \mathbf{F} \otimes \mathbf{I}_K$ 为使用 $D \times K$ 乘 $D \times K$ 大小的主因子演算-快速富利叶转换矩阵的

块离散富利叶转换。 $\otimes$ 表示kronecker乘积。 $\mathbf{I}_K$ 为 $K \times K$ 大小的单元矩阵，而F

为如方程式13所说明 $D \times D$ 大小的块离散富利叶转换矩阵。

$D \cdot K$ 乘 $D \cdot K$ 大小的块 f 对角矩阵 Λ 是具有方程式22所示的型式。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda^{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \Lambda^{(2)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Lambda^{(D)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式22}$$

其各项 $\Lambda^{(i)}, i=1,2,\dots,D$ 为方程式23A所示的 $K \times K$ 块。

$$\Lambda^{(i)} = \begin{bmatrix} \lambda_{1,1}^{(i)} & \cdots & \cdots & \lambda_{1,K}^{(i)} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \lambda_{K,1}^{(i)} & \cdots & \cdots & \lambda_{K,K}^{(i)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式23A}$$

可替代是，主对角块 $\Lambda^{(i)}, i=1,2,\dots,D$ 可被计算为方程式23B。

$$\begin{bmatrix} \Lambda^{(1)^T} & \Lambda^{(2)^T} & \cdots & \Lambda^{(D)^T} \end{bmatrix}^T = (\mathbf{F}_{(K)} \mathbf{R}_c(:,1:K)) \quad \text{方程式23B}$$

$R_c(:,1:K)$ 表示为 R_c 的第一块栏。也就是说， $R_c \cdot F_{(K)} R_c(:,1:K)$ 的第一 K 栏可使用主因子演算-快速富利叶转换通过长度 D 的 K^2 平行非块离散富利叶转换来计算。

方程式7中的被估计向量 $\underline{d}$ 是较佳被逼近为方程式24A。

$$\underline{d} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{A}^H \underline{\mathbf{r}} \approx \mathbf{R}_c^{-1} \mathbf{A}_c^H \underline{\mathbf{r}}_c = \mathbf{F}_{(K)}^H \Lambda^{-1} \Lambda_A^H \mathbf{F}_{(Q)} \underline{\mathbf{r}}_c \quad \text{方程式24A}$$

块对角矩阵 Λ^{-1} 是被表示为方程式24B。

$$\Lambda^{-1} = \begin{bmatrix} \Lambda^{(1)-1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \Lambda^{(2)-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Lambda^{(D)-1} \end{bmatrix} \quad \text{方程式24B}$$

Λ 的反向需 $K \times K$ 矩阵的反向， $\Lambda^{(i)}, i=1,2,\dots,D$ 。

方程式24A可被重写为方程式25。

$$F(\underline{d}) = \Lambda^{-1} \Lambda_A^H F(\underline{\mathbf{r}}_c) \quad \text{方程式25}$$

$F(r_c)$ 是为方程式26A及26B。

$$F(r_c) \equiv F_{(Q)} r_c \quad \text{方程式26A}$$

$$F(\underline{d}_c) \equiv F_{(K)} \underline{r}_c \quad \text{方程式26B}$$

由于 Λ^{-1} 及 Λ_A^H 的块对角结构, 方程式25可有效地被计算如下。方程式25项次是被分为如方程式27所示的D块。

$$\begin{bmatrix} F(\underline{d})^{(1)} \\ F(\underline{d})^{(2)} \\ \vdots \\ F(\underline{d})^{(D)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda^{(1)-1} & & & \\ & \Lambda^{(2)-1} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \Lambda^{(D)-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda_A^{(1)} & & & \\ & \Lambda_A^{(2)} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \Lambda_A^{(D)} \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} F(\underline{r}_c)^{(1)} \\ F(\underline{r}_c)^{(2)} \\ \vdots \\ F(\underline{r}_c)^{(D)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式27}$$

方程式27中的各块是分别被解出如方程式28所示。

$$F(\underline{d})^{(i)} = \Lambda^{(i)-1} \Lambda_A^{(i)H} F(\underline{r}_c)^{(i)} \quad \text{方程式28}$$

如方程式22所示, $F(\underline{d})^{(i)}$ 是为K乘1向量。 $\Lambda^{(i)}$ 为K乘K向量。如方程式14所示, $\Lambda_A^{(i)}$ 是为Q乘K向量。 $F(\underline{r}_c)^{(i)}$ 是为Q乘1向量且由 $F(\underline{r}_c)$ 的成分 $(1+(i-1)Q)$ 至 $(i-Q)$ 所组成。

为了避免直接反向 $\Lambda^{(i)}$, 方程式28可使用LU分解及前向替代及后向替代来解出。方程式28可被重写为方程式29。

$$\Lambda^{(i)} F(\underline{d})^{(i)} = \Lambda_A^{(i)H} F(\underline{r}_c)^{(i)} \quad \text{方程式29}$$

$\Lambda^{(i)}$ 是被分解为方程式30。

$$\Lambda^{(i)} = L^{(i)} U^{(i)} \quad \text{方程式30}$$

$L^{(i)}$ 为下三角矩阵。 $U^{(i)}$ 为上三角矩阵。

使用LU分解, 方程式28可被表示为方程式31。

$$L^{(i)} U^{(i)} F(\underline{d})^{(i)} = \Lambda_A^{(i)H} F(\underline{r}_c)^{(i)} \quad \text{方程式31}$$

方程式31中的 $F(\underline{d})^{(i)}$ 是通过方程式32所示的前向替代及方程式33所示的后向替代来解出。

$$\text{前向替代: } \underline{L}^{(i)} \underline{y}^{(i)} = \Lambda_A^{(i)H} F(\underline{r}_c)^{(i)} \quad \text{方程式32}$$

$$\text{后向替代: } \underline{U}^{(i)} [F(\underline{d})]^{(i)} = \underline{y}^{(i)} \quad \text{方程式33}$$

最后, d被决定用于方程式34所示的所有块。

$$\underline{\mathbf{d}} = F^{-1}(\underline{\mathbf{d}}) = F^{-1} \begin{bmatrix} F(\underline{\mathbf{d}})^{(1)} \\ F(\underline{\mathbf{d}})^{(2)} \\ \vdots \\ F(\underline{\mathbf{d}})^{(D)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式 34}$$

图6为使用码分多址的分时双工系统中的高效联合侦测较佳实施例的块状图。使用被接收向量, $\underline{\mathbf{r}}, \underline{\mathbf{r}}_c$ 可通过插入零来形成, 接着 $\underline{\mathbf{r}}_c$ 的块离散富利叶转换100是被方程式26执行来产生 $F(\underline{\mathbf{r}}_c)$ 。

使用被接收训练序列, 各被传输丛发的信道脉冲响应 $\underline{\mathbf{h}}^{(k)}$ 是通过估计信道响应102来决定。使用各信道化码 $\underline{\mathbf{c}}^{(k)}$ 及信道脉冲响应 $\underline{\mathbf{h}}^{(k)}$, 系统矩阵A可通过计算方程式2所示的块矩阵A块104来决定。

为了决定 Λ_A , 系统矩阵A可通过展开块132展开来使用观察区间中的所有被接收码片。块循环矩阵Ac的第一块栏是通过第一块栏块114选择被展开A矩阵的第一K栏来决定。通过执行使用主因子演算-快速富利叶转换的主因子演算-快速富利叶转换118的块离散富利叶转换, Λ_A 可被决定。

为了决定 Λ , R首先通过计算R块140来决定。针对均方差值最小化解, $R = A^H A + \sigma^2 I$ 是被使用; 针对零强迫解, $R = A^H A$ 是被使用。由于被展开A的大小, R亦被展开块134展开。被展开R矩阵的第一块栏是通过第一块栏块108选择被展开R矩阵的第一K栏来决定。被展开R矩阵的第一块栏是通过循环化块栏块110来循环化。其成为块循环Rc的第一块栏。通过执行使用主因子演算-快速富利叶转换乘块离散富利叶转换块112的块离散富利叶转换, Λ 可被决定。

为了有效计算被估计向量 $\underline{\mathbf{d}}$, Λ_A , Λ 及 $F(\underline{\mathbf{r}}_c)$ 是分别通过分割块136开发 Λ_A 及 Λ 的块对角结构而被分为块 $\Lambda_A^{(i)}$, $\Lambda^{(i)}$ 及 $F(\underline{\mathbf{r}}_c)^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, D$ 。 $\Lambda_A^{(i)}$, $\Lambda_A^{(i)H}$ 的复杂共轭是通过倒置矩阵来决定。相乘器128可将 $\Lambda_A^{(i)H}$ 乘上 $F(\underline{\mathbf{r}}_c)^{(i)}$ 。 $\Lambda^{(i)}$ 是使用方程式30所示的LU分解块126使用LU分解来分解。通过执行方程式31-33所示的前向及后向替代, 分别使用前向及后向替代块124及122, $F(\underline{\mathbf{d}})^{(i)}$ 是可被决定。通过重复LU分解, 前向及后向替代D次, $F(\underline{\mathbf{d}})$ 可被找出。执行使用 $F(\underline{\mathbf{d}})$

的主因子演算-快速富利叶转换乘块反向离散富利叶转换块120的反向块离散富利叶转换, $\underline{d}$ 可被估计。

第7, 8及9图为应用高效联合侦测至多重接收天线及/或部份(多重码片速率)采样的简化接收器。具多重接收天线的接收器28是被显示于图7。被传输丛发是通过各天线40₁至40_m(40)来接收。各被接收丛发的天线版本是被通过如解调器42₁至42_m降低至基频。各天线的基频信号是通过采样装置43₁至43_m来产生各天线40的被接收向量 $\underline{r}_1$ 至 $\underline{r}_m$ 。对应于中步的样本是通过信道估计装置144处理以产生各天线40的信道响应矩阵 H_1 至 H_m 。被接收数据向量 $\underline{d}$ 是通过使用被接收向量及信道响应矩阵的高效联合侦测装置142来决定。

接收器28使用部分采样的采样是被显示于图8。被传输丛发是被天线40接收。被接收丛发是被如解调器42降低至基频。基频信号是通过采样装置43采样来产生部份样本当作被接收向量。各个接收向量是代表以部份码片偏移被采样的码片速率样本。为了描述, 两个被接收向量 $\underline{r}_1$ 至 $\underline{r}_m$ 是被产生用于加倍码片速率采样。这些向量各具有被一半码片分隔的样本。对应于中步的样本是通过信道估计装置144处理以产生各组部份样本的信道响应矩阵 H_1 至 H_m 。被接收数据向量 $\underline{d}$ 是通过使用被接收向量及信道响应矩阵的高效联合侦测装置142来决定。

具有多重接收天线及使用部份采样的接收器28是被显示于图9。被传输丛发是通过各天线40₁至40_i(40)来接收。各被接收丛发的天线版本是被通过如解调器42₁至42_i降低至基频。各天线的基频信号是通过采样装置43₁至43_i来产生各天线40的被接收向量 $\underline{r}_1$ 至 $\underline{r}_m$ 。各天线的被接收向量是对应于各多重码片速率采样。对应于中步的样本是通过信道估计装置144处理以产生各天线部份采样的信道响应矩阵 H_1 至 H_m 。被接收数据向量 $\underline{d}$ 是通过使用被接收向量及信道响应矩阵的高效联合侦测装置142来决定。

应用高效联合侦测来分散接收或部份采样或两者均有时, 被接收通信丛发是被视为M虚拟码片速率接收丛发。为了描述, 被接收丛发是被模制为4 (M=4) 码片速率接收丛发来加倍码片速率采样及两天线分散接收。

各个接收的丛发是为K个被传输丛发的组合。各K个被传输丛发是具有其自我码。K个码的第k个及M虚拟接收丛发第m个信道脉冲响应向量是为 $\underline{h}^{(k,m)}$ 。

$\underline{h}^{(k,m)}$ 具有长度W且被估计自第m个虚拟接收丛发的第k个码丛发的中步样本。

第k个码的丛发的各N数据符号是被表示为方程式35。

$$\underline{d}^{(k)} = [d_1^{(k)} d_2^{(k)} \dots d_N^{(k)}]^T, \quad 1 \leq k \leq K \quad \text{方程式 35}$$

第k个丛发的码是被表示为方程式36。

$$\underline{c}^{(k)} = [c_1^{(k)} c_2^{(k)} \dots c_Q^{(k)}]^T, \quad 1 \leq k \leq K \quad \text{方程式 36}$$

第k个码的符号响应对第m个虚拟丛发的贡献 $\underline{b}^{(k,m)}$ 是被表示为方程式37。

$$\underline{b}^{(k,m)} = \underline{h}^{(k,m)} \otimes \underline{c}^{(k)} \quad \text{方程式 37}$$

符号响应长度是为Q+W-1。Q为展开因子。各第m个被接收丛发的系统矩阵A(m)是被表示为方程式38。

$$A = \begin{bmatrix} B^{(m)} & & & \\ & B^{(m)} & & \\ & & B^{(m)} & \\ & & & \ddots \\ & & & & B^{(m)} \end{bmatrix}$$

方程式 38

各块 $B^{(m)}$ 是为(Q+W-1)乘K大小，且被表示为方程式39。

$$B^{(m)} = [\underline{b}^{(1,m)} \underline{b}^{(2,m)} \dots \underline{b}^{(K,m)}] \quad \text{方程式 39}$$

整个系统矩阵A被表示为方程式40。

$$A = \begin{bmatrix} A^{(1)} \\ A^{(2)} \\ \vdots \\ A^{(M)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式 40}$$

如方程式38所示，各子系统矩阵A是为块Toeplitz。M虚拟丛发的整个被

接收向量是为 $M(NQ+W-1)$ 大小，且被表示为方程式41。

$$\underline{\mathbf{r}} = [\underline{\mathbf{r}}_1^T \quad \underline{\mathbf{r}}_2^T \quad \cdots \quad \underline{\mathbf{r}}_M^T]^T \quad \text{方程式41}$$

第 m 个被接收向量 $\underline{\mathbf{r}}_m$ 是为 $NQ+W-1$ 乘1大小。

方程式42为整个被接收向量的模型。

$$\underline{\mathbf{r}} = \mathbf{A}\underline{\mathbf{d}} + \underline{\mathbf{n}} \quad \text{方程式42}$$

$\underline{\mathbf{n}}$ 为噪声变异。

各第 m 个被接收虚拟丛发是被表示为方程式43。

$$\underline{\mathbf{r}}_m = \mathbf{A}^{(m)}\underline{\mathbf{d}} + \underline{\mathbf{n}}_m \quad \text{方程式43}$$

$\underline{\mathbf{n}}_m$ 为第 m 个被接收虚拟丛发的噪声变异。

为了解决方程式42中的数据向量 $\underline{\mathbf{d}}$ ，具有零强迫或最小均方差方法的块线性均衡器可被使用为方程式44。

$$\hat{\underline{\mathbf{d}}} = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{A}^H \underline{\mathbf{r}} \quad \text{方程式44}$$

$\mathbf{R}$ 为协方差矩阵。

针对零强迫解， $\mathbf{R}$ 被表示为方程式45。

$$\mathbf{R} = \sum_{m=1}^M \mathbf{A}^{(m)H} \mathbf{A}^{(m)} = \mathbf{A}^H \mathbf{A} \quad \text{方程式45}$$

针对最小均方差解， $\mathbf{R}$ 被表示为方程式46。

$$\mathbf{R} = \sum_{m=1}^M \mathbf{A}^{(m)H} \mathbf{A}^{(m)} + \sigma^2 \mathbf{I} = \mathbf{A}^H \mathbf{A} + \sigma^2 \mathbf{I} \quad \text{方程式46}$$

零强迫解或最小均方差解的协方差矩阵是为块Toeplitz。为了应用离散富利叶转换至块Toeplitz $\mathbf{A}^{(m)}$ 矩阵， $\mathbf{A}^{(m)}, \mathbf{A}_c^{(m)}$ 的块循环逼近是被使用。为了使 $\mathbf{A}^{(m)}$ 为块平方矩阵， $\mathbf{A}^{(m)}$ 是被展开。被展开 $\mathbf{A}^{(m)}$ 矩阵接着被逼近为块循环矩阵 $\mathbf{A}_c^{(m)}$ 。

$\mathbf{A}_c^{(m)}$ 矩阵是由 D 乘 D 块组成。各块是为 Q 乘 K 大小。于是， $\mathbf{A}_c^{(m)}$ 大小成为 DQ 乘 DK 。为了包含所有 $\mathbf{A}^{(m)}$ 的成分， D 是被选择为方程式47所示的大于 $D_{\min}$ 的整数。

$$D_{\min} = \left\lceil N + \frac{(W-1)}{Q} \right\rceil \quad \text{方程式47}$$

$\lceil \cdot \rceil$ 表示尾数舍进整数函数。

协方差矩阵R为具有K乘K大小块的NK乘NK大小的块平方矩阵。为了R与被展开 $A_c^{(m)}$ 矩阵兼容，R是被展开为DK乘DK乘零填充大小并逼近该被展开R为块循环协方差矩阵Rc。针对被接收向量 $r^{(m)}$ 与 $A_c^{(m)}$ 及Rc兼容， $\underline{r}^{(m)}$ 是被展开为DQ乘1乘零填充向量 $\underline{r}_c^{(m)}$ 。

展开该被接收向量 $\underline{r}^{(m)}$ 的后，所有被接收向量是被表示为方程式48。

$$\underline{\mathbf{r}} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{r}}_c^{(1)T} & \underline{\mathbf{r}}_c^{(2)T} & \cdots & \underline{\mathbf{r}}_c^{(M)T} \end{bmatrix}^T \quad \text{方程式48}$$

各块循环矩阵 $A_c^{(m)}$ 是被对角化为方程式49所示的块对角矩阵乘块离散富利叶转换矩阵。

$$\mathbf{A}_c^{(m)} = \mathbf{F}_{(Q)}^H \mathbf{\Lambda}_A^{(m)} \mathbf{F}_{(K)} \quad \text{方程式49}$$

$\mathbf{F}_{(Q)}$ 被表示为方程式50。

$$\mathbf{F}_{(Q)} = \mathbf{F} \otimes \mathbf{I}_Q \quad \text{方程式50}$$

$\mathbf{F}_{(K)}$ 被表示为方程式51。

$$\mathbf{F}_{(K)} = \mathbf{F} \otimes \mathbf{I}_K \quad \text{方程式51}$$

F为D乘D大小的离散富利叶转换型式且为n乘n单元矩阵。 $A_A^{(m)}$ 为方程式52型式的块对角矩阵。

$$\mathbf{\Lambda}_A^{(m)} = \begin{bmatrix} \Lambda_A^{(1,m)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \Lambda_A^{(2,m)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Lambda_A^{(D,m)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式52}$$

$l = 1, \dots, D$ 而 $m = 1, \dots, M$ 的 $A_A^{(l,m)}$ 是为Q乘K大小的非零块。0为具有所有零成

分的Q乘K大小的零矩阵。

$A_A^{(l,m)}$ 可替代被计算如方程式53。

$$\Lambda_A^{(m)} = \text{diag}^H(\mathbf{F}_{(Q)} \mathbf{A}_c^{(m)}(:, 1:K)) \quad \text{方程式53}$$

$A_c^{(m)}(:, 1:K)$ 为 $A_c^{(m)}$ 的第一块栏。第一块栏具有K个栏。为了决定 $A_A^{(m)}$ ，较佳 $F_{(Q)} A_c^{(m)}(:, 1:K)$ 是使用长度D的主因子演算-快速富利叶转换的QK平行非块离散富利叶转换来决定。块循环矩阵Rc亦较佳被对角化为方程式54所示的块对角矩阵 Λ_R 乘块离散富利叶转换矩阵 $F_{(K)} = F \otimes I_K$ 。

$$\mathbf{R}_c = \mathbf{F}_{(K)}^H \Lambda_R \mathbf{F}_{(K)} \quad \text{方程式54}$$

块对角矩阵 Λ_R 是由其主对角块中的K乘K大小的块 $\Lambda_R^{(l)}$ ， $l = 1, \dots, D$ 组成，如方程式55所示。

$$\Lambda_R = \begin{bmatrix} \Lambda_R^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Lambda_R^{(2)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \Lambda_R^{(D)} \end{bmatrix} \quad \text{方程式55}$$

另一决定 Λ_R 的方法是被表示为方程式56。

$$\Lambda_R = \text{diag}^H(\mathbf{F}_{(K)} \mathbf{R}_c(:, 1:K)) \quad \text{方程式56}$$

$R_c(:, 1:K)$ 为Rc的第一块栏。 $F_{(K)} R_c(:, 1:K)$ 较佳是使用长度D的 K^2 平行非块离散富利叶转换来决定。一实施例中， K^2 平行非块离散富利叶转换是使用长度D的 K^2 平行非块主因子算术快速富利叶转换来实施。

较佳执行方程式44的块等化，匹配滤波是被逼近为方程式57。

$$\begin{aligned}
A^H \underline{r} &\approx A_c^H \underline{r}_c = \sum_{m=1}^M A^{(m)H} \underline{r}_c^{(m)} \\
&= \sum_{m=1}^M \left(F_{(Q)}^H \Lambda_A^{(m)} F_{(K)} \right)^H \underline{r}_c^{(m)} \\
&= F_{(K)}^H \sum_{m=1}^M \Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)}
\end{aligned} \tag{方程式57}$$

$A_c^{(m)}$ 的块对角化是被表示为方程式58。

$$A_c = \begin{bmatrix} A_c^{(1)T} & A_c^{(2)T} & \dots & A_c^{(M)T} \end{bmatrix}^T \tag{方程式58}$$

数据向量的估计 $\hat{\underline{d}}$ 是被表示为方程式59。

$$\begin{aligned}
\hat{\underline{d}} &= R^{-1} A^H \underline{r} \approx R_c^{-1} A_c^H \underline{r}_c \\
&= \left(F_{(K)}^H \Lambda_R F_{(K)} \right)^{-1} F_{(K)}^H \sum_{m=1}^M \left(\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)} \right) \\
&= F_{(K)}^H \Lambda_R^{-1} F_{(K)} F_{(K)}^H \sum_{m=1}^M \left(\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)} \right) \\
&= F_{(K)}^H \Lambda_R^{-1} \sum_{m=1}^M \left(\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)} \right) \\
&= F_{(K)}^H \underline{y}
\end{aligned} \tag{方程式59}$$

DK乘1大小的向量 $\underline{y}$ 是被表示为方程式60。

$$\begin{aligned}
\underline{y} &= \Lambda_R^{-1} \sum_{m=1}^M \left(\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)} \right) \\
&= \begin{bmatrix} y^{(1)T} & y^{(2)T} & \dots & y^{(D)T} \end{bmatrix}^T
\end{aligned} \tag{方程式60}$$

$y^{(l)}$, $l = 1, \dots, D$ 为K乘1大小的向量。

较佳决定 $\underline{y}$, $F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)}$ 是使用长度D的Q平行非块离散富利叶转换来决定。

一实施例中，Q平行非块离散富利叶转换是使用长度D的Q平行非块主因子算术快速富利叶转换来实施。 Λ_R^{-1} 为具有其主对角块中的K乘K大小的块对角矩阵且被表示为方程式61。

$$\Lambda_R^{-1} = \begin{bmatrix} \Lambda_R^{(1)-1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \Lambda_R^{(2)-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Lambda_R^{(D)-1} \end{bmatrix} \quad \text{方程式61}$$

各 $\Lambda_R^{(l)-1}$ ， $l=1, \dots, D$ 为K乘K大小的块。

较佳使用 Λ_R^{-1} 的块对角结构， $\underline{y}^{(l)}$ 是通过 $\Lambda_R^{(l)}$ 的Cholesky分解及连串前向及后向替代来决定。可替代是， $\Lambda_R^{(l)}$ 是被直接反向。

为了执行Cholesky分解，向量 $\sum_{m=1}^M (\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)})$ 是被分为K乘1大小的D块，被表示为方程式62。

$$\begin{aligned} \underline{x} &= \sum_{m=1}^M (\Lambda_A^{(m)H} F_{(Q)} \underline{r}_c^{(m)}) \\ &= \begin{bmatrix} \underline{x}^{(1)T} & \underline{x}^{(2)T} & \cdots & \underline{x}^{(D)T} \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad \text{方程式62}$$

$\Lambda_R^{(l)} G^{(l)}$ 的Cholesky因子是使用因子化来决定，被表示为方程式63。

$$\Lambda_R^{(l)} = \mathbf{G}^{(l)} \mathbf{G}^{(l)H} \quad \text{方程式63}$$

使用Cholesky因子 $G^{(l)}$ ，各 $\underline{y}^{(l)}$ 是分别通过方程式64，65及66所示的前向及后向替代来决定。

$$\Lambda_R^{(l)} \underline{y}^{(l)} = \mathbf{G}^{(l)} \mathbf{G}^{(l)H} \underline{y}^{(l)} = \underline{x}^{(l)} \quad \text{方程式64}$$

前向替代: *Find* $\underline{z}^{(l)}$ in $\mathbf{G}^{(l)} \underline{z}^{(l)} = \underline{x}^{(l)}$, where $\underline{z}^{(l)} = \mathbf{G}^{(l)H} \underline{y}^{(l)}$

方程式65

后向替代: $Find \underline{y}^{(i)} \text{ in } \underline{z}^{(i)} = \mathbf{G}^{(i)H} \underline{y}^{(i)}$ 方程式66

通过执行 $\underline{y}$ 的块反向离散富利叶转换,数据向量 $\underline{d}$ 是被估计为 $\hat{\underline{d}}$ 。较佳是,块反向离散富利叶转换是使用长度D的Q平行非块主因子算术快速富利叶转换来实施。

图10为使用码分多址的分时双工系统中的高效联合侦测较佳实施例的块状图。虽然图10描绘使用两组样本,但图标可被展开为其它多重组。使用各组码片速率样本 $\underline{r}_1$ 及 $\underline{r}_2$, $\underline{r}_c^{(1)}$ 及 $\underline{r}_c^{(2)}$ 的被接收向量是可分别通过展开块232₁及232₂插入零来形成。使用 $\underline{r}_c^{(1)}$ 及 $\underline{r}_c^{(2)}$ 的主因子算术快速富利叶转换的块离散富利叶转换200₁及200₂接着被执行来产生 $F_{(Q)}\underline{r}_c^{(1)}$ 及 $F_{(Q)}\underline{r}_c^{(2)}$ 。

使用被接收训练序列,各被传输丛发的各码片速率版本的信道脉冲响应 $\underline{h}^{(k)(1)}$ 及 $\underline{h}^{(k)(2)}$ 是通过估计信道响应块202₁及202₂来决定。使用各信道化码 $\underline{c}^{(k)}$ 及信道脉冲响应 $\underline{h}^{(k)(1)}$ 及 $\underline{h}^{(k)(2)}$,各系统矩阵 $A^{(1)}$ 及 $A^{(2)}$ 是可通过计算方程式37及38所示的子系统矩阵块204₁及204₂来决定。

为了决定 $\Lambda_A^{(1)}$ 及 $\Lambda_A^{(2)}$,各系统矩阵 $A^{(1)}$ 及 $A^{(2)}$ 是被展开块231₁及231₂展开。各块循环矩阵 $A^{(1)}$ 及 $A^{(2)}$ 的第一块栏是可通过选择展开 $A^{(m)}$ 矩阵的第一K栏乘第一块栏块214₁及214₂来决定。通过执行块离散富利叶转换218₁及218₂, $\Lambda_A^{(1)}$ 及 $\Lambda_A^{(2)}$ 是使用主因子算术快速富利叶转换来决定。

为了决定 Λ_R ,R的第一块栏是通过计算第一块栏R来决定。第一块栏R是被展开块234展开。被展开R的第一块栏是通过第一块栏决定装置来决定。被展开R矩阵的第一块栏是通过循环块栏块210被循环化Rc。通过执行块离散富利叶转换乘通过执行块离散富利叶转换块212, $\Lambda_R^{(i)}$ 是使用主因子算术快速富利叶转换来决定。

为了有效计算被估计向量 $\underline{d}$, $\Lambda_A^{(1)}$ 及 $\Lambda_A^{(2)}$ 及 $F(\underline{r}_c^{(1)})$ 及 $F(\underline{r}_c^{(2)})$ 是被使用。各 $\Lambda_A^{(1)}$ 及 $\Lambda_A^{(2)}$ 及 $F(\underline{r}_c^{(1)})$ 及 $F(\underline{r}_c^{(2)})$ 及 Λ_R 是分别通过分割块136而被分为D块。 $\Lambda_A^{(1,i)}$, $\Lambda_A^{(2,i)}$, $\Lambda_A^{(1,i)H}$, $\Lambda_A^{(2,i)H}$ 的复杂共轭是通过倒置块230,231来决定。相乘器228可

将 $\Lambda_A^{(i)H}$ 乘上 $F(\underline{r}_c)^{(i)}$ 。相乘器 229 可将 $\Lambda_A^{(i)H}$ 乘上 $F(\underline{r}_c)^{(i)}$ 。 $\Lambda^{(i)}$ 是使用方程式 63 所示的 Cholesky 分解 226 来分解。通过执行方程式 65 及 66 所示的前向及后向替代, 分别使用前向及后向替代块 224 及 222, $F(\underline{d})^{(i)}$ 是可被决定。执行使用 $F(\underline{d})$ 的主因子演算-快速富利叶转换乘块反向离散富利叶转换块 220 的反向块离散富利叶转换, $\hat{\underline{d}}$ 可被估计。

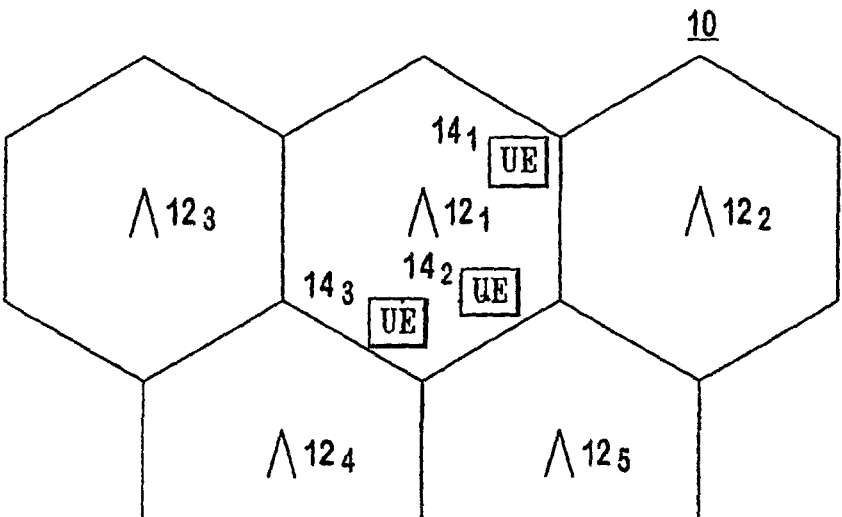


图 1

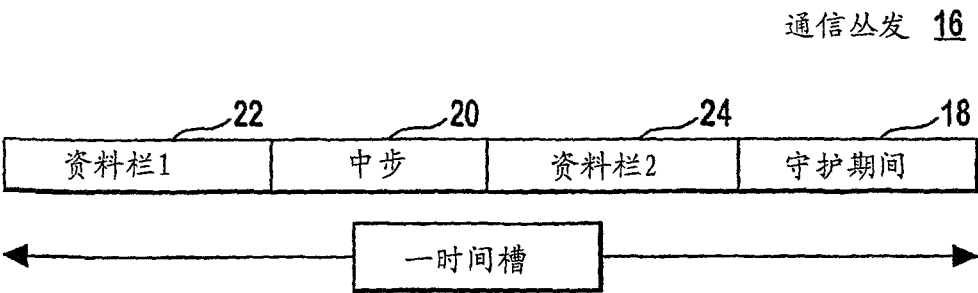


图 3

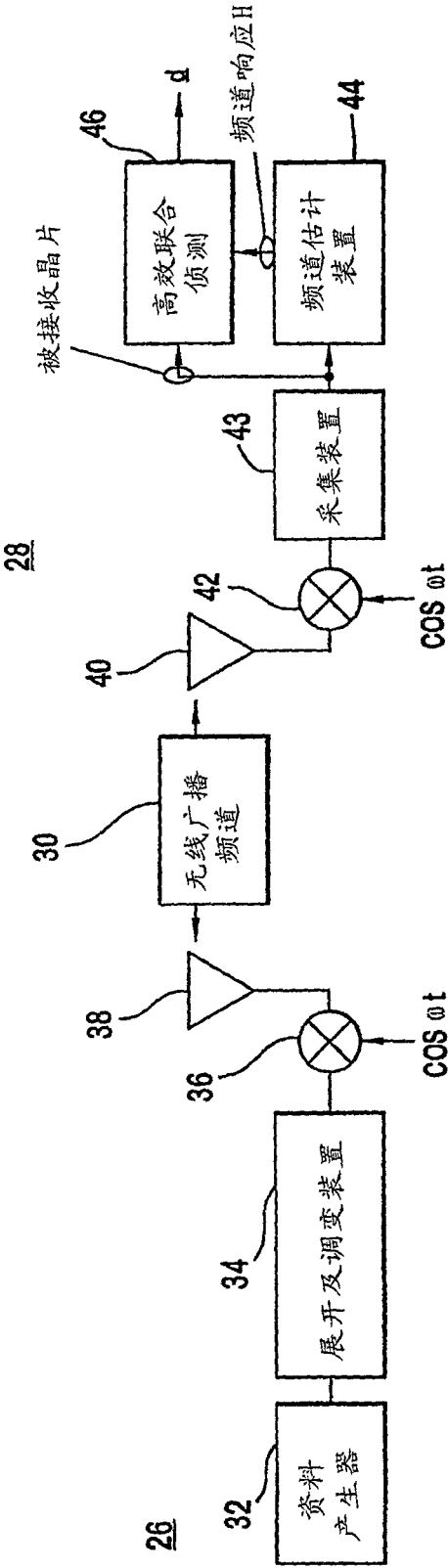


图 2

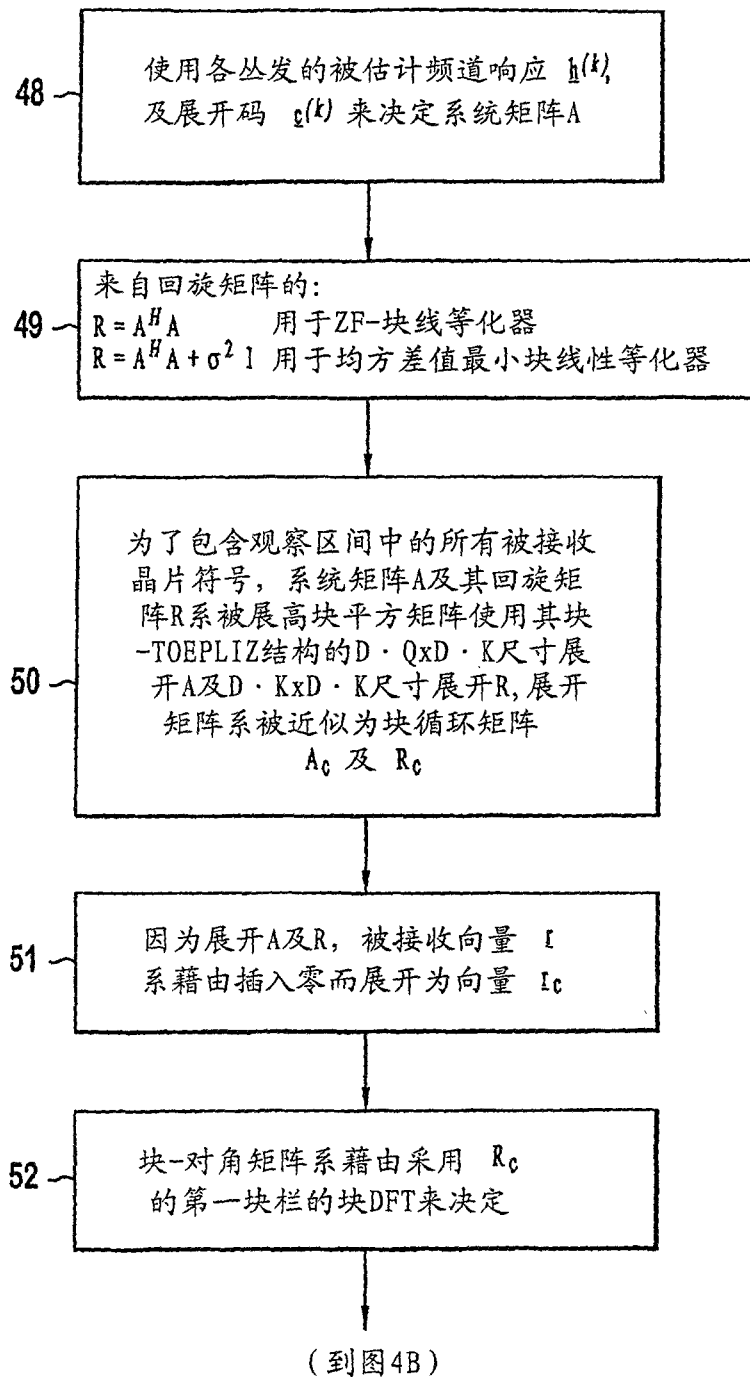


图 4A

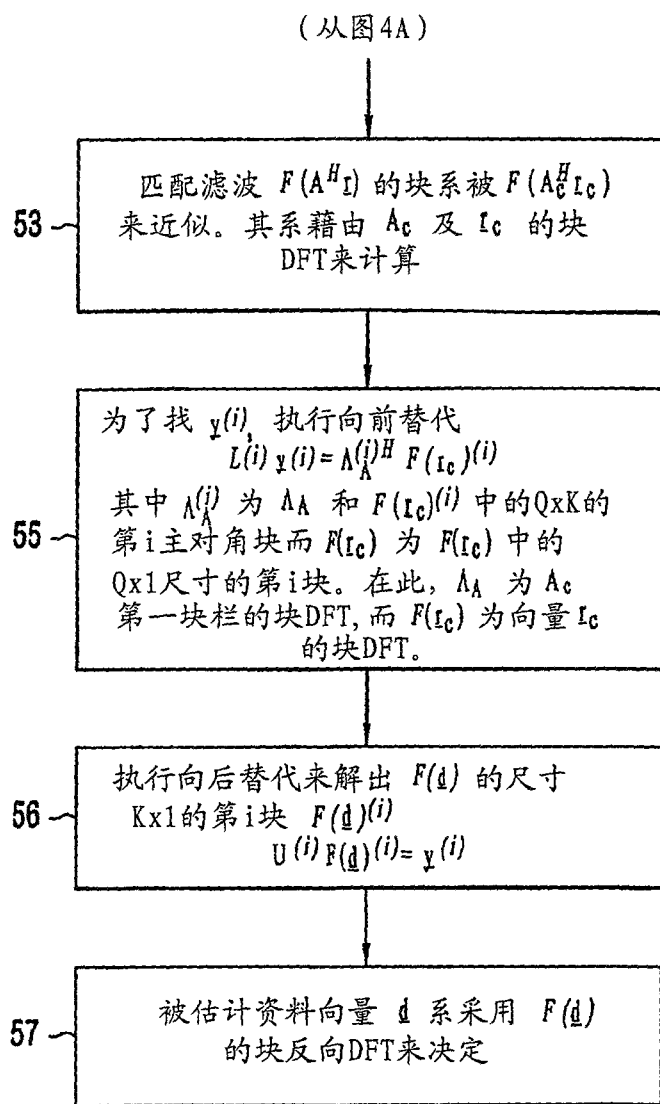


图 4B

通信丛发 16

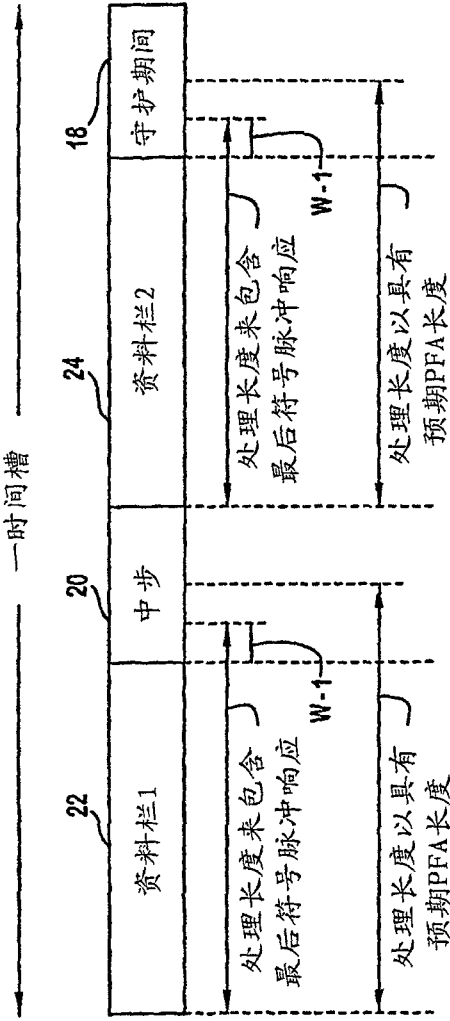
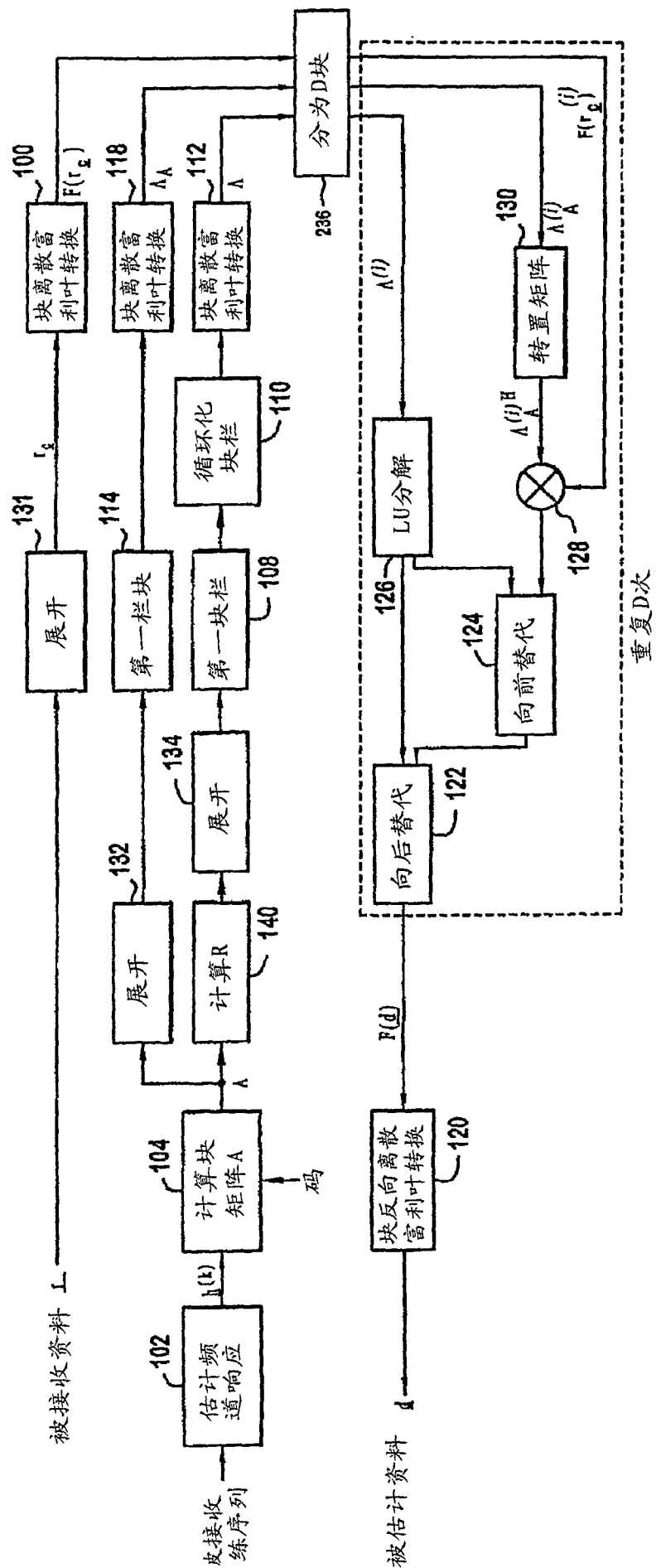


图 5



6

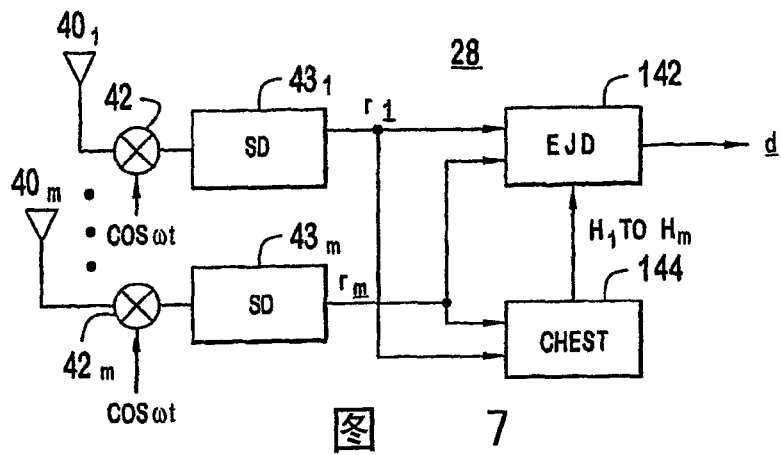


图 7

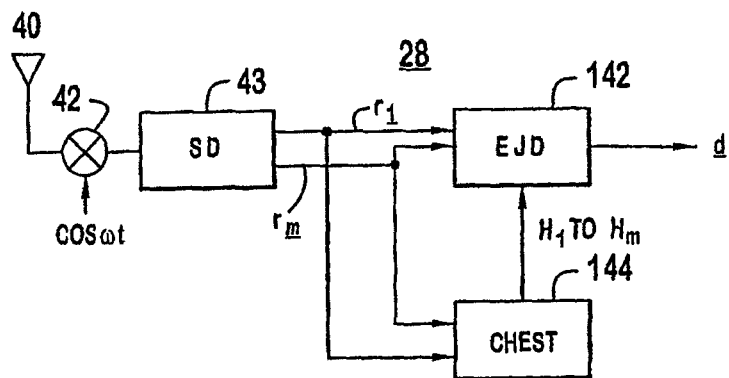


图 8

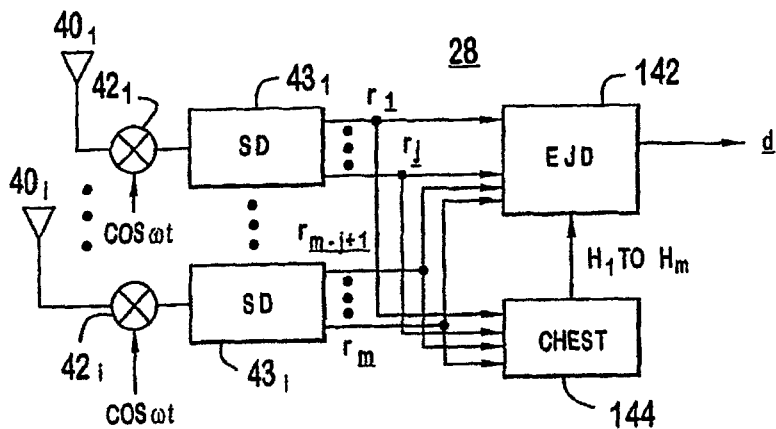


图 9

