

文章编号:1004-9037(2012)05-0541-06

联合部分干扰抵消的TD 集群多小区联合检测

成聿伦^{1,2} 杨龙祥^{1,2}

(1. 南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室, 南京, 210003;

2. 南京邮电大学宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 南京, 210003)

摘要:针对TD 集群下行智能天线无法使用, 链路小区间干扰严重的问题, 提出了将判决反馈与单小区联合检测通过部分干扰抵消进行级联的方案消除干扰。通过重新排列总系统矩阵, 消除了多反馈级数带来的错误积累, 提高了反馈精度, 其单小区JD 部分避免了扩展矩阵维数, 从而减弱了算法对背景噪声的放大效应。比较了其与传统算法的抗小区间干扰能力以及算法复杂度, 仿真结果验证了该方案的有效性以及在各种信道下的鲁棒性。

关键词: 集群系统; 小区间干扰; 联合检测; 干扰抵消

中图分类号: TN 929. 52

文献标识码: A

Combination of Partial Interference Cancellation and Joint Detection in TD Trunking Downlink

Cheng Yulun^{1,2}, Yang Longxiang^{1,2}

(1. Wireless Communications Key Lab of Jiangsu Province, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003, China;

2. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology, Ministry of Education, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003, China)

Abstract: Smart antenna cannot be applied in TD trunking downlink and its capacity is limited due to the inter-cell interference (ICI). So a combination of single-cell joint detection (JD) and decision feedback interference cancellation is proposed through partial successive interference cancellation to eliminate interference. By rearranging the total system matrix, the accuracy of feedback is insured while the single-cell JD part avoids the expansion of the system matrix dimension, thus weakening the amplification of background noise. The scheme and conventional ICI suppression algorithms are analyzed and compared in anti-interference ability and complexity. Simulation results verify the effectiveness and robustness of the proposed scheme under a variety of multipath channels.

Key words: trunking system; inter-cell interference; joint detection; interference cancellation

引 言

TD 集群系统以TD-SCDMA 为空中接口来承载集群业务, 其业务特性要求下行以广播为主, 这限制了智能天线分散小区间干扰(Inter-cell interference, ICI)的能力。TD 运营方的最新测试报

告^[1]显示, 在不采取有效ICI 抑制算法的情况下, 链路预算需要增加10 dB 的额外余量。因此设计有效的ICI 抑制算法成为工程实践中亟待解决的问题。

对于ICI 抑制目前主要有干扰消除和干扰协调(Interference coordination, IC)两种思路。基于干扰消除的算法中, 文献[2]通过扩展联合检测的系统矩阵维数消除ICI, 缺点是恶化了噪声放大效

基金项目: 国家自然科学基金(61071090, 61171093)资助项目; 江苏省高校自然基金重大项目(11KJA510001) 资助项目; 江苏省高校研究生科研创新计划(CXZZ11-0388, CXLX11-0404) 资助项目; 国家科技重大专项课题(2011ZX03005-004-003) 资助项目; 江苏省“九七三”计划(BK2011027) 资助项目。

收稿日期: 2011-09-13; 修订日期: 2011-12-01

应。对此文献[3]在上行进行了改进,只将强干扰用户纳入算法。文献[4,5]分别在波束赋型和JD算法中用ICI估计更新背景噪声项,提高了误码性能。基于IC的算法中,文献[6,7]通过软频率复用、无线资源分配来实现干扰规避,文献[8]将其动态地应用于基站和中心控制器,进一步提高了规避概率。最新的研究将两种思路结合,如文献[9,10]将IC分别与SIC及MMSE均衡结合,提高了算法在系统重负荷下的健壮性。本文重构文献[2]的系统矩阵作为判决反馈,将文献[9,10]的数据检测部分级联作为判决器,提高了反馈精度且减弱了背景噪声的放大效应。仿真结果表明,联合算法能取得比单纯使用干扰消除更好的误码性能和健壮性。

1 系统模型

图1是TD-SCDMA集群下行传输模型,其中 \otimes 表示卷积, \odot 表示标量乘。 $\mathbf{d}^{(k)} = [d_1^{(k)}, d_2^{(k)}, \dots, d_N^{(k)}]^T$ 表示第 k 个用户发送的突发,其中 $d_N^{(k)}$ 是第 k 个用户发送的第 N 个符号。每个符号与长度为 Q 的扩频码 $\mathbf{c}^{(k)}$ 相乘进行扩频,经过扩频之后所有用户数据相加形成长度为 NQ 的基站发送序列 $\mathbf{S} = [s_1, s_2, \dots, s_{NQ}]^T$ 。 \mathbf{d} 是目标小区的发送数据块: $\mathbf{d}^{(k)} = [d_1^{(1)}, d_2^{(1)}, \dots, d_1^{(2)}, d_2^{(2)}, \dots, d_N^{(k)}]^T$,类似的,邻小区 i 的发送数据块为 \mathbf{d}_i 。 \mathbf{n} 是零均值且互相关矩阵为 $\mathbf{R}_n = E(\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}^H)$ 的高斯白噪声序列。采用结合路径损耗的精确模型^[11],无线多径衰落信道冲击响应 $\mathbf{h} = [h_1, h_2, \dots, h_w]^T$,是服从独立瑞利分布的随机序列, w 是信道估计窗长。目标群组用户与邻小区 i 之间的信道冲击响应为 \mathbf{h}_i 。这里假设在一个数据块传输时间里信道特性是不变的。目标群组用户与目标小区的距离为 d ,与邻小区 i 的距离为 d_i , γ 是路径损耗因子。目标群组用户与邻小区 i 之间的信道冲击响应 \mathbf{h}'_i 为

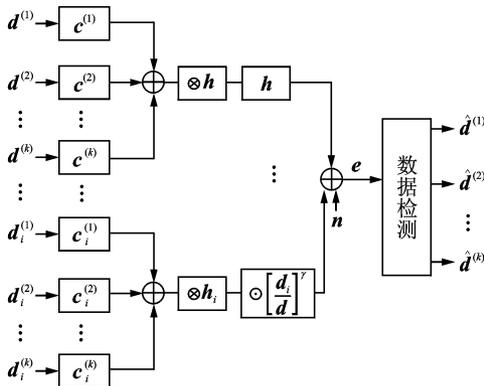


图1 TD-SCDMA 集群下行系统模型

$$\mathbf{h}'_i = \left[\frac{d_i}{d} \right]^\gamma \cdot \mathbf{h}_i \quad (1)$$

定义联合信道响应 $\mathbf{b}^{(k)} = \sqrt{P} \cdot \mathbf{c}^{(k)} \otimes \mathbf{h}$ 和邻小

区 i 的联合信道响应 $\mathbf{b}_i^{(k)} = \sqrt{P_i} \cdot \mathbf{c}_i^{(k)} \otimes \mathbf{h}'_i$,由其分别构造目标小区和邻小区 i 的系统矩阵 \mathbf{A} 和 \mathbf{A}_i ,其中 P 和 P_i 为目标小区及邻小区的发射功率。 λ 是相邻小区的个数,则接收端的接受序列 \mathbf{e} 为

$$\mathbf{e} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{d} + \sum_{i=1}^{\lambda} \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{d}_i + \mathbf{n} \quad (2)$$

2 多小区线性联合检测算法

2.1 维数扩展的多小区线性联合检测

假设接收端通过码道检测和信道估计器得到联合检测所涉及用户的扩频码与多小区信道冲击响应,则构造总的系统矩阵和总数据块矩阵

$$\mathbf{G} = [\mathbf{A}, \mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_\lambda] \quad (3)$$

$$\mathbf{D} = [\mathbf{d}, \mathbf{d}_1, \dots, \mathbf{d}_\lambda] \quad (4)$$

则式(2)可重新写成 $\mathbf{e} = \mathbf{G} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{n}$,应用迫零准则和最小均方误差准则可以得到迫零均衡和最小均方误差均衡等维数扩展的线性联合检测类均衡器关于接收数据块的估计

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{MZF-BLE}} = (\mathbf{G}^H \cdot \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^H \cdot \mathbf{e} \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{MMMSE-BLE}} = (\mathbf{G}^H \cdot \mathbf{G} + \sigma^2 \cdot \mathbf{I})^{-1} \mathbf{G}^H \cdot \mathbf{e} \quad (6)$$

对 \mathbf{G} 进行Cholesky分解 $\mathbf{G}^H \cdot \mathbf{G} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H}$,其中 \mathbf{H} 是上三角矩阵。构造数据估计 $\hat{\mathbf{d}}' = (\mathbf{H}^H)^{-1} \mathbf{G}^H \cdot \mathbf{e}$,此处理相当于 \mathbf{D} 的最末元素和小小区间干扰以及小区内干扰进行了解相关。这个判决结果在判决 \mathbf{D} 中前一个元素时将反馈回来进行干扰抵消,以此类推,直到 \mathbf{D} 中所有的元素都被判决。多小区迫零判决反馈块均衡器(Multi-cell zero forcing block decision feedback, MZFBDFE)的数据估计为

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{MZFBDFE}, K \cdot N} = Q\{\hat{\mathbf{d}}'_{K \cdot N}\} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{MZFBDFE}, K \cdot N - j} = Q\{\hat{\mathbf{d}}'_{K \cdot N - j} -$$

$$\sum_{i=1}^j [\mathbf{H} - \mathbf{I}]_{K \cdot N - j, K \cdot N - j + i} \cdot \hat{\mathbf{d}}_{\text{MZFBDFE}, K \cdot N - j + i}\}$$

$$j = 1, \dots, K \cdot N - 1$$

式中 $Q\{\cdot\}$ 是判决量化操作。同样对 $\mathbf{G} + \sigma^2 \cdot \mathbf{I}$ 进行Cholesky分解,可以得到多小区最小均方误差判决反馈块均衡器(Multi-cell minimum mean square error block decision feedback, MMMSE-BDFE)的数据估计。

2.2 更新背景噪声功率因子的多小区联合检测

文献[5]将小区间干扰建模成具有相同功率的背景噪声,由其更新MMSE算法中的噪声因子,即总的背景噪声因子为 $\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^{\lambda} P_i$. 将其代入式(6)得到更新背景噪声功率因子的最小均方误差数据估计

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{BMMSE}} = \left(\mathbf{A}^H \cdot \mathbf{A} + \left(\sigma^2 + \sum_{i=1}^{\lambda} P_i \right) \cdot \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{A}^H \cdot \mathbf{e} \quad (8)$$

3 干扰抵消与单小区线性联合检测相结合算法

第2节的判决反馈均衡是以目标用户误码率为优化目标构造的系统矩阵,其中 \mathbf{A} 总是排在最前,确保目标群组用户的数据在判决反馈时最后解出.实际上邻小区信号功率一般小于目标群组用户信号,这样的排列会影响邻小区群组用户的数据判决反馈精度.对于扩展维数的线性联合检测类,由Cauchy-Schwartz不等式的推论可得,系统矩阵 \mathbf{A} 的维数越高,其逆矩阵的范数越大,则 $(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{n}$ 越大,表明其对背景噪声的放大越严重,这会抵消部分算法增益.干扰抵消与单小区线性联合检测相结合(Combination of interference cancellation and joint detection, CICJD)的出发点是结合两类算法各自的优点,取长补短,既能减小线性联合检测的背景噪声扩大问题,又能克服干扰抵消类多小区联合检测的反馈级数过长出现错误累积效应导致误码的问题.信号首先利用信道估计和用户扩频码采取SIC去除ICI,去除ICI后的信号再输入单小区线性联合检测器,无论是ZF还是MMSE,此时可以避免维数扩大,能进一步有效消除小区内MAI的干扰.具体的算法步骤为:

(1) 设调制为BPSK, \bar{p}_i 为邻小区 i 信号误比特率,由式(7)及式(3)的反馈规则得

$$\bar{p}_i = Q \left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^\gamma \bar{h}_i P_i}{\mathbf{H}_i^{-1} \mathbf{N}_0 + \sum_{i=1}^{\lambda} \left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^\gamma \bar{h}_i P_i + \bar{h} P}} \right) \quad (9)$$

$$\bar{p}_i \cdot Q \left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^\gamma \bar{h}_i P_i}{\mathbf{H}_i^{-1} \mathbf{N}_0 + 2 \left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^\gamma \bar{h}_i P_i + \bar{h} P}} \right) \quad (10)$$

将式(9,10)代入使得 $\min \sum_{i=1}^{\lambda} \bar{p}_i$ 得出系统矩阵

排列: $\mathbf{G}' = [\dots, \mathbf{A}_i, \mathbf{A}_j, \dots, \mathbf{A}]$, 其中 $\frac{\|\mathbf{h}_i\|}{\|\mathbf{h}_j\|} \leq \left| \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_j} \right|^\gamma$.

(2) 对 \mathbf{G}' 进行Cholesky分解,可以基于ZF或者MMSE准则,以MMSE为例,有 $(\mathbf{G}' + \sigma^2 \cdot \mathbf{I})^H \cdot (\mathbf{G}' + \sigma^2 \cdot \mathbf{I}) = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H}$, 构造数据估计 $\hat{\mathbf{d}}'_i = (\mathbf{H})^{-1} \cdot \mathbf{G}'^H \mathbf{e}$, 将其代入式(7)逐步进行MBDFE判决得到邻小区 i 信号估计 $\hat{\mathbf{d}}_i$.

(4) 利用 $\hat{\mathbf{h}}_i$ 和 \mathbf{c}_i 以及上一步得到的 $\hat{\mathbf{d}}_i$, 重新构造ICI的估计,从接收信号中将其减去以消除干扰:

$$\mathbf{e}' = \mathbf{e} - \sum_{i=1}^{\lambda} \hat{P}_i \cdot \hat{\mathbf{h}}_i \otimes \mathbf{c}_i \cdot \hat{\mathbf{d}}_i$$

(4) 将 \mathbf{e}' 输入单小区线性联合检测器,以迫零均衡为例,有

$$\hat{\mathbf{d}}_{\text{CICZF}} = (\mathbf{A}^H \cdot \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \cdot \mathbf{e}'$$

由于系统矩阵只是 \mathbf{A} , 矩阵维数没有被扩展,所以相比之前的维数扩展线性联合检测类,CICJD对背景噪声的放大效应较小.

4 算法分析与比较

4.1 算法复杂度分析

算法的计算量主要来自于系统矩阵的求逆操作.如果以精确Cholesky分解完成矩阵求逆,其计算复杂度为 $O(U^3)$, 其中 U 为矩阵维数.表1列出了各种多小区联合检测的复杂度比较,其中 $\mathbf{J} = \mathbf{E}\mathbf{V}$

表1 算法复杂度比较

算法名称	运算操作	乘法次数
MZF-BLE	$\mathbf{e}' = \mathbf{G}^H \mathbf{e}$	$UT + T^2$
	$\mathbf{J} = \mathbf{G}^H \cdot \mathbf{G}$	$UT^2 + U^2 T$
	$\mathbf{J} = \mathbf{E}\mathbf{V}$	$U^3/6$
MZFBDFE	$\mathbf{e}' = \mathbf{G}^H \mathbf{e}$	$UT + T^2$
	$\mathbf{J} = \mathbf{H}^H \cdot \mathbf{H}$	$UT^2 + U^2 T$
	$\mathbf{J} = (\mathbf{H}^H)^{-1} \cdot \mathbf{e}$	$U^3/6$
BMMSE	$\mathbf{e}' = \mathbf{A}^H \mathbf{e}$	$U_1 T + T^2$
	$\mathbf{J} = \mathbf{A}^H \cdot \mathbf{A}$	$U_1 T^2 + U_1^2 T$
	$\mathbf{J} = \mathbf{E}\mathbf{V}$	$U_1^3/6$
CICZF	$\mathbf{e}' = \mathbf{G}^H \mathbf{e}$	$UT + T^2$
	$\mathbf{J} = (\mathbf{H}^H)^{-1} \cdot \mathbf{e}$	$U^3/6$
	$\mathbf{J} = \mathbf{E}\mathbf{V}$	$U_1^3/6$

表示 Cholesky 分解, N 为数据块长, K 为小区内用户数, W 为信道估计窗长, $T = NQ + W - 1$, $U_1 = NK$ 为目标小区系统矩阵维数, $U = U_1 + \sum_{i=1}^{\lambda} N_i K_i$ 为扩展后总系统矩阵维数。

对于扩展维数的线性联合检测类, 由于增加了系统矩阵的维数, 其计算量会随着维数指数三次方的速度增加。对于 BMMSE, 由于将 ICI 当成无结构特征的背景噪声处理, 算法没有扩展系统矩阵的维数, 所以与单小区的联合检测相比复杂度没有增加。对于 CICJD, 主要的计算量同样来自于系统矩阵的求逆, 其系统矩阵在维数扩展前和扩展后均要进行一次求逆运算。

各算法间复杂度的具体差别与干扰小区系统矩阵维数占总系统矩阵维数的比例相关, 总的来说, CICJD 复杂度最高, BMMSE 复杂度最低, 而线性联合检测类介于两者间, 由于增加了矩阵维数, 其复杂度接近于 CICJD。

4.2 仿真结果与分析

在 TD-SCDMA 集群系统设定下对上述几类多小区联合检测进行了算法性能的仿真与比较, 其中基站以广播方式发送信号, 用户数据采用 QPSK 调制。扩频因子 $SF = 16$, 为了仿真集群通信系统的功率控制特点, 小区中每个用户的数据都采用相同的功率发送。目标群组用户 UE 端采用单根天线接收信号, 信道估计采用 Steiner 估计器。目标小区活动码道数为 8。相邻小区个数为 2, 其活动码道数均为 4。相邻小区以 14 dB 的发射功率发射数据。路径衰耗因子 λ 取 4 (城区典型值)。同一个 BS 在下行分配给其小区群组用户的 Midamble 码相同。信道模型参数采用 3GPP 的测试标准 TR25. 948. v5. 0。

图 2 是信道 Case 1 下当相对路径衰耗因子为 1 时 (相当于目标群组用户处于小区边界) 下行 TD

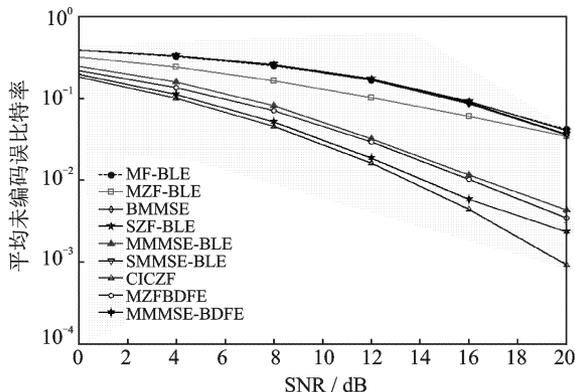


图 2 TD 集群多小区联合检测算法误比特率比较 (信道为 Case 1)

集群链路在应用各种多小区联合检测算法下的误码率。图中 CICZF 的性能是众多算法中最好的, 对 ICI 以及小区内 MAI 的抑制比其他算法有效, 这主要得益于 CICZF 通过有机的结合干扰抵消判决反馈和线性联合检测, 充分发挥了两种算法各自的优势。在扩展维数的多小区线性联合检测中, 基于 BDFE 的多小区联合检测性能要好于相应的直接扩展维数的算法, 比如 MZF-BLE 和 MMMSE-BLE。此类算法可以在一定程度上抑制多小区干扰 ICI, 但都存在背景噪声放大效应的恶化问题, 所以性能不如 CICZF。最小均方误差准则下的均衡好于迫零准则, 这是由于均方误差准则用背景噪声因子减弱了放大效应的影响。由于信道 Case 1 只有两径, 多径效应并不严重, 产生的小区内 MAI 和 ICI 有限, 可以看出单小区的 SZF-BLE 和 SMMSE-BLE 与匹配滤波器 MF-BLE 相比增益并不明显, 在高信噪比下比较接近, 这是由于单小区的联合检测只能抑制部分小区内的 MAI 而无法抑制 ICI。噪声因子更新类 BMMSE 性能与单小区联合检测非常接近, 对抗 ICI 的能力不明显, 这也是由于两径下 ICI 具有结构化的统计特性, 与背景噪声的统计特性相差较大, 背景噪声因子更新效果有限, 而 BMMSE 没有真正去除 ICI, 其对误码性能的影响仍然存在。

图 3 是信道 Case 2 下的性能曲线。相比于 Case 1, Case 2 有 3 径, 且每径的能量相同, 产生的 ICI 和小区内 MAI 都比 Case 1 严重, 此时各种算法的增益差异比图 2 明显。在 $SNR < 10$ dB 时, MMMSE-BDFE 性能最好, 也好于 ICIZF。当 $SNR > 10$ dB 时, ICIZF 性能最好, 且随着信噪比提高性能改善最明显。在信噪比较低时, ICIZF 的反馈错误较大, 影响了性能, 随着信噪比提高过一定门限, ICIZF 逐渐发挥了优势, 特别在高信噪比下性能改善非常明

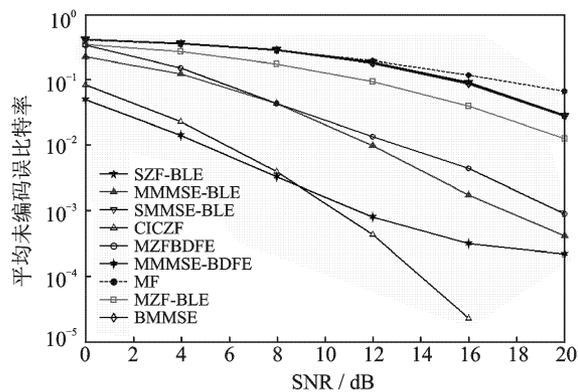


图 3 TD 集群多小区联合检测算法误比特率比较 (信道为 Case 2)

显。而扩展维数线性联合检测类算法性能好于单小区联合检测,表明其仍然可以抑制ICI,从而改善性能。由于信道环境使得ICI和MAI变得严重,与匹配滤波的算法相比,单小区联合检测类算法的增益也比Case 1要明显。BMMSE的性能仍然与单小区联合检测类近似,对ICI的抑制不明显,这是由于Case 2下每径的能量相等,使ICI与背景噪声在统计特性上仍然有差异,将ICI建模成背景噪声会造成性能上的损失。

图4是信道Case 3下各种接收算法下的性能曲线。其中MZF和MMMSE的性能优于单小区联合检测。多小区BDFE均差于相应的线性联合检测,这是由于算法涉及的反馈级数增多,造成的错误累积变大,所以单纯的扩展维数并不能充分地发挥BDFE类算法的优点。BMMSE性能改善接近于MMMSE,只是在SNR=20 dB时,性能提升略差。BMMSE的复杂度远远低于多小区JD,在Case 3下是很实用的方案。ICIZF性能最好,其单小区ZF部分没有恶化背景噪声的放大效应,同时,由于其输入信号是经过利用BDFE判决进行干扰消除之后,提高了信干比,其中的BDFE部分的判决错误累积并不对最终的性能产生决定性的影响。

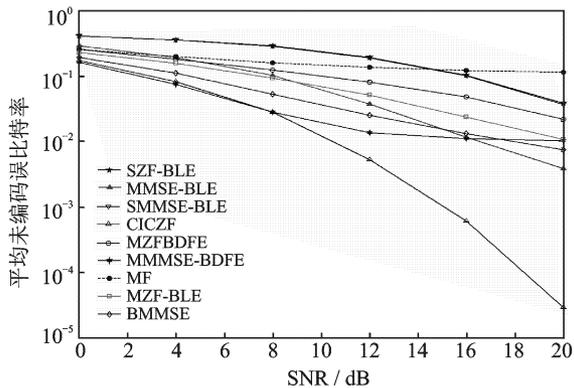


图4 TD集群多小区联合检测算法误比特率比较(信道为Case 3)

图5是在信道Case 3增加了相对距离维度的误码率性能曲线,其中 R 是小区半径, d/R 代表干扰模型式(1)中邻小区信号的相对路径损耗。在 $d/R < 0.2$ 和 $SNR > 16$ dB时,SZF-BLE性能最好,此时ICI相对目标小区功率非常小,即使不做处理,其对性能也几乎无影响。MZF-BLE性能最差,去除ICI的增益小于放大的噪声,反而使性能恶化。在付出了更多的计算复杂度的情况下,这种结果是不经济的,在工程实践中值得注意。文献[12]在HSPA网络中得出了类似的结果,即只有ICI比较严重时算法增益才能显现。随着 d/R 增大,SZF-

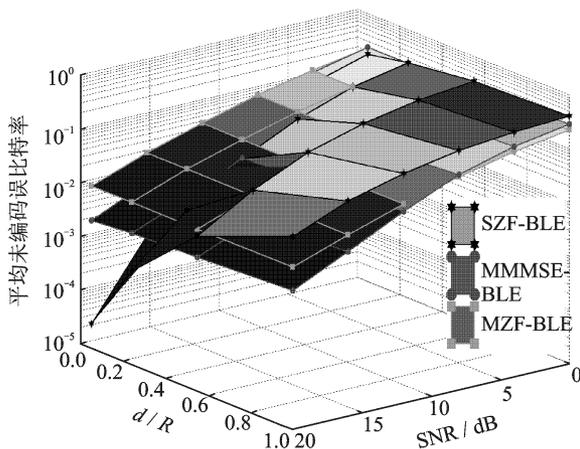


图5 多小区线性联合检测算法误比特率比较(信道为Case 3)

BLE的性能急剧恶化,而去除ICI带来的增益也越来越明显。 $d/R > 0.6$ 时MZF-BLE和MMMSE-BLE的性能均好于SZF-BLE。由于利用背景因子减弱了放大效应的影响,MMMSE-BLE性能好于MZF-BLE。在这种情况下,相比单小区联合检测,应用扩展维数的多小区联合检测能够以更高的复杂度改善和提高链路性能。

图6是信道Case 3下BMMSE与CICZF的综合比较。 $d/R < 0.2$ 时,BMMSE优于CICZF,ICI很小时造成CICZF的判决反馈部分的错误率较高,影响了ICI的消除和后面对目标小区数据的判决。此时BMMSE在没有增加计算复杂度的情况下能获得最好的性能。当 $d/R > 0.2$ 时,BMMSE性能差于CICZF并且 d 越大,两类算法的性能增益差越大,在信噪比相同时, d 越大,CICZF性能越好,因为ICI功率越大,BDFE越能做出正确的反馈,从而能在更大程度上去除ICI。CICJD在 d 的所有值上均表现出稳定的增益,有良好的抑制ICI的能力和鲁棒性。

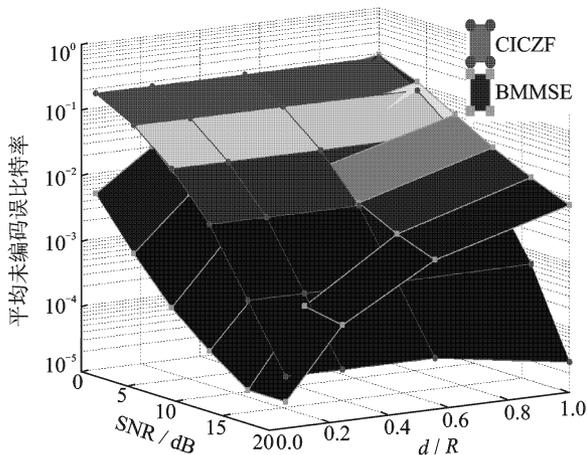


图6 联合部分干扰抵消的联合检测误比特率比较(信道为Case 3)

5 结束语

本文对 TD 集群下行广播信道的小区间干扰抑制算法进行了研究。以最小化判决反馈误码率为目标提出了一种基于 BDFE 的小区间干扰抵消算法。在此基础上将其与单小区 JD 级联,提出了一种联合部分干扰抵消的多小区联合检测方案,使小区内干扰和小区间干扰通过不同的处理分别消除,减弱了传统算法单一处理引起的增益损失。仿真结果表明,相比于扩展维数的线性联合检测类,以及更新背景功率因子类等小区间干扰抑制算法,该方案具有更高的算法增益和更强的稳健性。

参考文献:

- [1] Liang S, Fang Y, Zhou M, et al. Performance analysis of the ratio of inter-cell to intra-cell interference with smart antenna in TD-SCDMA system [C]// IEEE International Conference on Communications Technology and Applications. Beijing, China: IEEE Press, 2009:147-151.
- [2] 阎发军,孙光永,王文博. 采用扩展联合检测提高 TD-SCDMA 系统的健壮性[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(5): 66-69.
Yan Fajun, Sun Guangyong, Wang Wenbo. Enhancing the robustness of TD-SCDMA system by extended joint detection scheme [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(5):66-69.
- [3] 宋晓勤,胡爱群,李克. 一种基于强径选择的联合信道估计算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(2): 410-413.
Song Xiaojin, Hu Aiqun, Li Ke. A joint channel estimation algorithm based on strong paths selection [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2009, 31(2):410-413.
- [4] Ren T, Richard J L. Downlink beamforming algorithms with inter-cell interference in cellular networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(10): 2814-2823.
- [5] Mingxi F, Minn T, Kaiyeung S. Improving the performance of linear MMSE detectors in multi-cell DS-CDMA system [C]//IEEE International Symposium

on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. London, UK: IEEE Press, 2000: 524-528.

- [6] Mao X, Maarel A, Teo K H. Adaptive soft frequency reuse for inter-cell interference coordination in SC-FDMA based 3GPP LTE uplinks [C]//IEEE Global Telecommunications Conference. New Orleans, USA: IEEE Press, 2008: 1-6.
- [7] Hernandez A, Guio I, Valdovinos A. Interference management through resource allocation in multi-cell OFDMA networks [C]//IEEE Vehicular Technology Conference. Barcelona, Spain: IEEE Press, 2009: 1-5.
- [8] Rahman M, Yanikomeroğlu H. Enhancing cell-edge performance; a downlink dynamic interference avoidance scheme with inter-cell coordination [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(4): 1411-1425.
- [9] Sun F, You M, Liu J, et al. Genetic algorithm based multiuser scheduling for single-and multi-cell systems with successive interference cancellation [C]//IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Istanbul, Turkey: IEEE Press, 2010: 1230-1235.
- [10] Mikami M, Fujii T. An inter-cell interference cancellation scheme with multi-cell coordinated scheduling for downlink of MIMO/OFDM cellular systems [C]//IEEE Vehicular Technology Conference. Budapest, Hungary: IEEE Press, 2011: 1-5.
- [11] Skillermark P, Almgren M, Astely D, et al. Simplified interference modeling in multi-cell multi-antenna radio network simulations [C]//IEEE Vehicular Technology Conference. Marina Bay, Singapore: IEEE Press, 2008:1886-1890.
- [12] Nihtila T, Kurjenniemi J, Lampinen M. Effect of ideal inter-cell interference cancellation to HSDPA system performance [C]//IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens, Greece: IEEE Press, 2007: 1-5.

作者简介:成聿伦(1983-),男,博士研究生,研究方向:宽带无线通信、协同通信与网络编码理论,E-mail:chengyulun@163.com;杨龙祥(1966-),男,教授,博士生导师,研究方向:下一代无线通信理论与技术、协同通信与网络编码理论。