

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.11.009

引用格式:蒋青,魏珊. LTE 系统中一种改进的天线端口数检测算法[J]. 电讯技术, 2016, 56(11):1229-1234. [JIANG Qing, WEI Shan. An improved antenna port number detection algorithm for LTE system[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(11):1229-1234.]

LTE 系统中一种改进的天线端口数检测算法*

蒋 青, 魏 珊**

(重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要:在长期演进(LTE)系统中,发送天线端口数通过循环冗余校验掩码的方式隐含于物理广播信道(PBCH)中,终端在解读 PBCH 信道获取主信息块(MIB)的同时,需要正确检测 PBCH 采用的发送天线端口数。传统的检测方法尝试分别用 1、2、4 等 3 种发射天线数进行 PBCH 译码,直至正确译码为止,译码复杂度非常高。基于此,提出一种改进的天线端口数估计算法,提取各天线端口传输的小区参考信号序列做相关,通过相关值与相关系数门限值的比较直接快速获取基站的实际天线端口数。仿真结果表明:该算法相较于传统检测算法和功率检测算法在时间复杂度上分别提升了 4 个数量级和 3 倍;在信噪比高于 0 dB 时,所提检测算法较功率检测算法有 4~6 dB 的增益。

关键词:LTE 系统;天线端口数检测;物理广播信道;参考信号

中图分类号:TN911.23 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)11-1229-06

An Improved Antenna Port Number Detection Algorithm for LTE System

JIANG Qing, WEI Shan

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In the long term evolution (LTE) system, the number of antenna ports is implied in physical broadcast channel (PBCH) by cyclic redundancy check mask (CRC mask). When the terminal obtains master information block (MIB), it also needs to correctly detect the number of transmit antenna ports that PBCH uses. But original detection method tries to decode PBCH respectively with 1, 2 or 4 antennas until decoding correctly, which has high complexity. So an improved algorithm for antenna port number detection is proposed which extracts the cell reference signal (CRS) in different antenna ports to perform correlation calculation and then get the actual antenna port number of base station by comparing the correlation value with the relevant threshold. Simulation results show that this method, on the time complexity, raises four orders of magnitude and three times respectively compared with the traditional detection algorithm and the power detection algorithm, and has 4~6 dB gain when compared with the power detection algorithm at 0 dB signal-to-noise ratio (SNR) above.

Key words: LTE system; antenna port number detection; physical broadcast channel (PBCH); reference signal

* 收稿日期:2016-03-17;修回日期:2016-05-10 Received date:2016-03-17;Revised date:2016-05-10
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61301126);重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA40032);重庆邮电大学博士启动基金项目(A2012-33);重庆邮电大学青年科学研究项目(A2013-31)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61301126); The Fundamental and Frontier Research Project of Chongqing (cstc2013jcyjA40032); Dr. Start-up Foundation of Chongqing University of Posts and Telecommunications (A2012-33); Young Science Research Program of Chongqing University of Posts and Telecommunications (A2013-31)

** 通信作者:1033764762@qq.com Corresponding author:1033764762@qq.com

1 引言

为了应对移动通信与宽带无线接入技术融合的趋势,提高数据传输速率,3GPP 启动了通用移动通信系统技术的长期演进(Long Term Evolution, LTE)项目。LTE 系统具有灵活配置带宽、峰值速率高、传输时延短等重要特点^[1]。物理广播信道(Physical Broadcast Channel, PBCH)解码是用户终端(User Equipment, UE)的一个重要步骤,UE 在小区初始搜索过程中建立与小区的时频同步后,需要 PBCH 获取小区的基本公共信息,如下行带宽、系统帧号等^[2]。在 LTE 系统中, PBCH 可以通过单、两、四天线端口进行发射^[3-4]。天线端口数信息隐含于 PBCH 的循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)的掩码信息里^[5],在正确检测 PBCH 信道前无法从其 CRC 的掩码中得到天线端口数的信息。传统的盲检测算法(以下称算法 1)可能最大经历 3 次完整的译码过程才能完成译码,具有很大的计算量。陈发堂等人^[5-6]提出了利用天线端口小区参考信号的功率来进行天线端口数估计(以下称算法 2),但是该算法只能在信噪比较大的情况适用,在信噪比较小时,算法性能急剧下降,不能适用于低信噪比环境。文献[7]给出了一种利用接收端参考信号序列与本地参考信号序列进行相关和空频码块(Space Frequency Block Code, SFBC)相结合的检测算法,该算法不仅需要提取接收端参考信号序列还需要产生本地参考信号序列,算法复杂度较高。

针对上述问题,本文提出一种低复杂度且抗噪声性能更强的天线端口估计算法。该算法根据参考信号的产生原理,利用不同天线端口上参考信号具有重复性的特点,通过提取各天线端口的参考信号序列做相关运算,比较相关值与仿真预设的相关系数门限值的大小,即可快速获得当前基站使用的天线端口数。

2 小区参考信号

2.1 小区参考信号的产生

小区专用参考信号(Cell Reference Signal, CRS)将在支持非多播/组播单频网络(Multimedia Broadcast multicast service Single Frequency Network, MBSFN)传输的小区中的所有下行子帧中传输。当子帧用于 MBSFN 传输时,仅一个子帧的前两个 OFDM 符号用于小区专用参考信号的传输。小区专用参考信号在天线端口 0~3 中的一个或多个端口上传输。小区专用参考信号仅适用于子载波间隔

$\Delta f=15\text{ kHz}$ 的情况。参考信号序列 $r_{l,n_s}(m)$ 的产生表达式为

$$r_{l,n_s}=\frac{1}{\sqrt{2}}(1-2\cdot c(2m))+j\frac{1}{\sqrt{2}}(1-2\cdot c(2m+1))\quad (1)$$

式中: $m=0,1,\cdots,2N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}}-1$; n_s 是一个无线帧中的时隙序号; l 是一个时隙中的 OFDM 符号序号; 伪随机序列 $c(n)$ 由长度为 31 的 Gold 序列产生。长度为 M_{PN} 的输出序列 $c(n)$ ($c=0,1,\cdots,M_{\text{PN}}-1$) 定义为

$$\begin{cases} c(n)=(x_1(n+N_c)+x_2(n+N_c))\bmod 2 \\ x_1(n+31)=(x_1(n+3)+x_1(n))\bmod 2 \\ x_2(n+31)=(x_2(n+3)+x_2(n+2)+x_2(n+1)+x_2(n))\bmod 2 \end{cases}\quad (2)$$

式中: $N_c=1\ 600$; 第一个 m 序列初始化为 $x_1(0)=1$, $x_1(n)=0$, $n=1,2,\cdots,30$; 第二个 m 序列在每个 OFDM 符号起始处初始化,初始值为

$$c_{\text{init}}=2^{10}(7(n_s+1)+l+1)(2N_{\text{ID}}^{\text{cell}}+1)+2N_{\text{ID}}^{\text{cell}}+N_{\text{CP}}\quad (3)$$

式中: $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 为小区号; N_{CP} 的取值与 CP 类型有关,其值为

$$N_{\text{CP}}=\begin{cases} 1, & \text{if normal CP} \\ 0, & \text{if extend CP} \end{cases}\quad (4)$$

由 c_{init} 可知在小区特定参考信号的生成过程中, Gold 序列的初始值会随着时隙号 n_s 和 OFDM 符号序号 l 取值的不同而发生变化。但是,由 c_{init} 的表达式可知,不同天线端口在相同的符号上的初始值是相同的,即所产生的 Gold 序列是相同的,所以相应的参考信号序列 r_{l,n_s} 也应是相同的。

2.2 小区参考信号的映射

参考信号序列 $r_{l,n_s}(m)$ 在天线口 p , 时隙 n_s 处映射为复数调制符号 $\alpha_{k,l}^{(p)}$, 以公式(5)的映射规则进行资源粒子(Resource Element, RE)映射:

$$\alpha_{k,l}^{(p)}=r_{l,n_s}(m')\quad (5)$$

式中: k 和 l 表示的频域索引和时域索引如式(6)和式(7)所示:

$$k=6m+(v+v_{\text{shift}})\bmod 6,\quad (6)$$

$$l=\begin{cases} 0, N_{\text{sybm}}^{\text{DL}}-3, & \text{if } p\in\{0,1\} \\ 1, & \text{if } p\in\{2,3\} \end{cases}\quad (7)$$

式(5)中 m 的取值范围为 $0,1,\cdots,2\cdot N_{\text{RB}}^{\text{DL}}-1$, $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$ 为小区的系统带宽,可由 PBCH 解码得知。式(5)中的 m' 由式(8)计算得到:

$$m'=m+N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}}-N_{\text{RB}}^{\text{DL}}\quad (8)$$

式中: $N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}}$ 在 LTE 系统中固定为 110,且对 PBCH 而言, PBCH 占用的频域资源为小区频带中心的 72

个子载波,一个资源块包含 12 个子载波,因此, PBCH 的 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$ 固定为 6。

变量 v 和 v_{shift} 定义参考信号在频域中的映射位置, v 值给定如下:

$$v = \begin{cases} 0, & \text{if } p=0 \text{ and } l=0 \\ 3, & \text{if } p=0 \text{ and } l \neq 0 \\ 3, & \text{if } p=1 \text{ and } l=0 \\ 0, & \text{if } p=1 \text{ and } l \neq 0 \\ 3, & \text{if } p=2 \\ 3+3(n_s \bmod 2), & \text{if } p=3 \end{cases} \quad (9)$$

小区专有频率偏移 v_{shift} 可由小区号 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 计算得到:

$$v_{\text{shift}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \bmod 6. \quad (10)$$

在任何时隙中,用于传输某一天线端口参考信号序列的映射位置不能用于传输其他天线端口的任何数据,只能作为预留资源。

图 1 给出了按照上述定义的常规 CP 时用于参考信号序列传输的资源单元示意图,其中, R_p 表示在 p 天线端口上用于传输参考信号序列的资源单元; $P=0,1$ 是指用于单天线或两天线端口的 OFDM 符号; $P=2,3$ 是 4 天线端口时天线端口 2 和 3 所使用的时域符号,在两天线端口时并不会使用该符号传输参考信号序列。

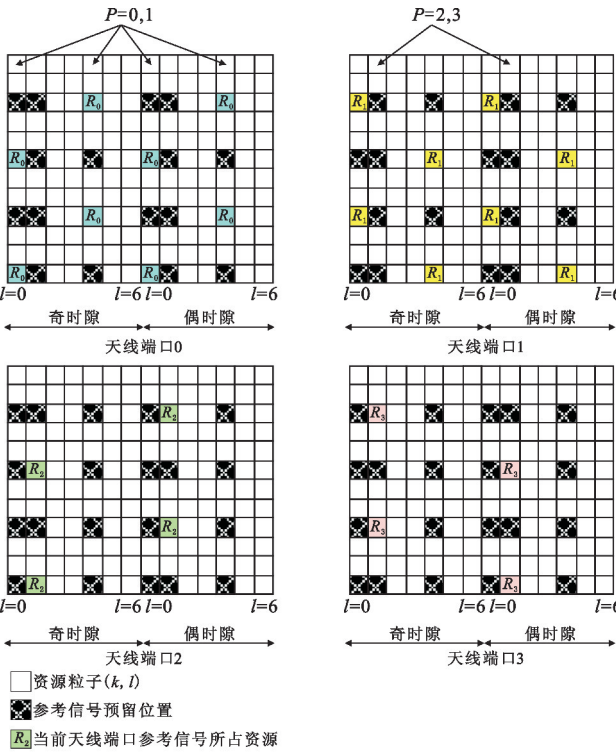


图 1 下行参考信号映射(常规 CP)
Fig.1 The mapping of downlink reference signal(conventional CP)

3 天线端口数估计

算法 1 的基本流程如图 2 所示,由于需要进行完整的 PBCH 解码流程才能判断出天线端口数,复杂度很高,不具有对比性,因此,本节将算法 2 与本文提出的算法进行理论分析并仿真对比。对于 LTE 下行基带接收信号,用户终端首先进行小区搜索,从中可以获得无线帧的起始位置及 CP 类型等重要参数,且仿真前已对接收信号进行频偏校正。本节主要介绍算法 2 及本文算法的原理及实现流程。

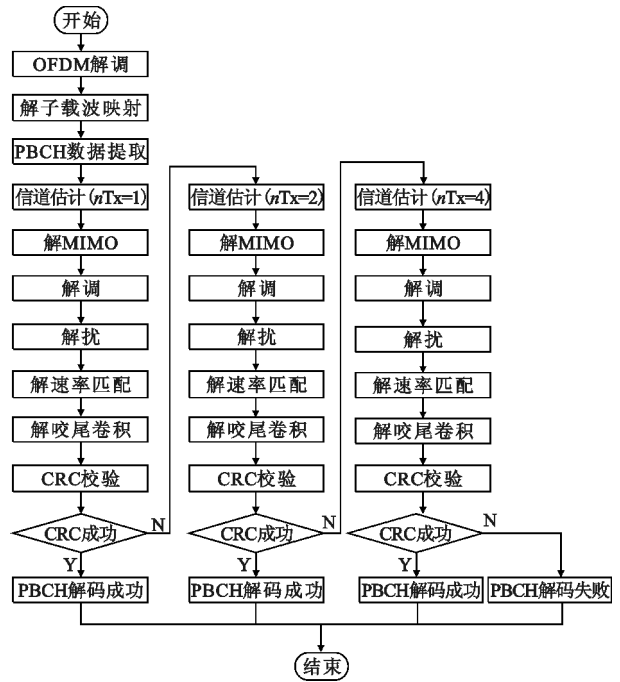


图 2 传统检测算法解码流程
Fig.2 Flow chart of the conventional detection algorithm

3.1 基于功率的天线端口检测算法(算法 2)

该检测算法利用 PBCH 资源内按照 4 天线端口进行预留,从而根据信号与噪声的功率来进行天线端口数检测。该检测算法首先利用 PBCH 所在时隙的辅同步序列 (Secondary Synchronization Sequence, SSS) 和其保护空载波的功率比值得到近似信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR)。SSS 由伪随机码构成,SSS 占用时频物理资源分布在时域子帧 0 中的最后一个 OFDM 符号,频域频带中心的 62 个子载波,SSS 在频域上预留有 10 个子载波的保护间隔。在接收时可认为 SSS 所在频域为 SSS 的有效信号,而保护间隔中传输的为噪声信号,即可计算得到相应的 SNR。然后根据得到的 SNR 确定一个功率比门限值为 $\rho \cdot \text{SNR}$, ρ 为取值为 0 ~ 1 的相关系数,通常取值 0.8 或 0.75。分别计算提取到的 4 个参考

信号序列 $r_0(s)$ 、 $r_1(s)$ 、 $r_2(s)$ 和 $r_3(s)$ 的功率 P_{CRS}^0 、 P_{CRS}^1 、 P_{CRS}^2 和 P_{CRS}^3 ，然后利用天线端口 0 对应的小区参考信号的功率与天线端口 2、3 对应的小区参考信号的功率作比值，如下式所示：

$$peak0_{4\text{Tx}} = 2 \cdot P_{\text{CRS}}^0 / (P_{\text{CRS}}^2 + P_{\text{CRS}}^3) \quad (11)$$

由于参考信号的资源位置始终会被预留出来，如式(11)中，当端口 2 和 3 上不传送参考信号时所传为噪声，得出的比值就会很大反之较小，该比值与上述功率比门限值比较，如果小于功率比门限值，则检测出天线端口数为 4，否则利用天线端口 0 对应的小区参考信号的功率与天线端口 1 对应的小区参考信号的功率作比值，如下式所示：

$$peak0_{2\text{Tx}} = P_{\text{CRS}}^0 / P_{\text{CRS}}^1 \quad (12)$$

用该比值与上述功率比门限值比较，如果小于功率比门限值，则检测出天线端口为 2，否则检测出天线端口为 1，从而完成天线端口数的检测。

3.2 基于相关的天线端口检测算法(本文算法)

针对传统 PBCH 天线端口估计算法及功率估计算法存在的缺陷，本文利用不同天线端口的 CRS 序列具有的重复性，提出一种基于不同天线端口 CRS 重复特性的天线端口估计算法，该算法不但能够有效降低运算复杂度，而且在低信噪比情况下也能有较高的检测成功率。

通过上文对下行小区参考信号的产生和资源映射的分析，小区参考信号序列由伪随机(Pseudo Noise, PN)序列产生，PN 序列的长度由 LTE 系统支持的最大资源块数(Resource Block, RB)确定，且伪随机序列的初始值由时隙号等参数按照式(3)确定。

对比公式可知在 PBCH 映射的时频资源内各天线端口除了时域符号可能不同外，其余的 3 个参数均相同。以两端口为例，在 PBCH 所占的时频资源中端口 0 和端口 1 对应的伪随机序列构造参数均相同。所以，端口 0 和端口 1 具有相同的小区参考信号序列。

由 2.2 节中小区参考信号序列的映射可知，参考信号在端口 0 和端口 1 的频域映射位置由 v 和 v_{shift} 确定，根据式(9)可知端口 0 与端口 1 的参考信号起始位置有 3 个子载波的偏移，因此，可根据各端口参考信号的映射位置对其分别进行提取。将各端口对应参考信号提取出来后，根据不同端口参考信号所具有的重复性，计算相应的提取序列间的相关性即可估计出服务基站实际使用的天线端口数。一般序列的归一化相关系数计算公式为

$$cor(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (13)$$

接收端各天线端口的参考信号序列为复数序列，需要对上述公式进行变化，变换后的归一化相关系数计算公式如式(14)所示：

$$cor(r,t) = \frac{(n \cdot \sum_{i=1}^n r_i t_i^* - \sum_{i=1}^n r_i \cdot (\sum_{i=1}^n t_i)^*)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n r_i \cdot r_i^* - (\sum_{i=1}^n r_i) \cdot (\sum_{i=1}^n r_i)^*} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n t_i \cdot t_i^* - (\sum_{i=1}^n t_i) \cdot (\sum_{i=1}^n t_i)^*}} \quad (14)$$

该检测算法首先需要根据信噪比等条件进行仿真，设置天线端口参考信号序列的相关系数门限值 T_1 、 T_1 的取值为 0~1 之间的正数，经过仿真测试，该值的取值一般可在 0.6~0.9 之间，可根据基站信号的信噪比适当选择。

分别提取 4 个端口对应的参考信号序列 $r_0(s)$ 、 $r_1(s)$ 、 $r_2(s)$ 和 $r_3(s)$ ，然后计算端口 2 与端口 3 参考信号的归一化相关系数：

$$peak1_{4\text{Tx}} = \sum_{k=0}^{11} r_2(k) \cdot r_3^*(k) \quad (15)$$

如果 $peak1_{4\text{Tx}}$ 大于门限值 T_1 ，则将天线端口数判决为 4，否则计算天线端口 0 与天线端口 1 的相关系数。天线端口 0 与天线端口 1 的相关系数如下式所示：

$$peak1_{2\text{Tx}} = \sum_{k=0}^{11} r_0(k) \cdot r_1^*(k) \quad (16)$$

如果 $peak1_{2\text{Tx}}$ 大于门限值 T_1 ，则将天线端口数判决为 2，否则将天线端口数判决为 1，其处理流程如图 3 所示。

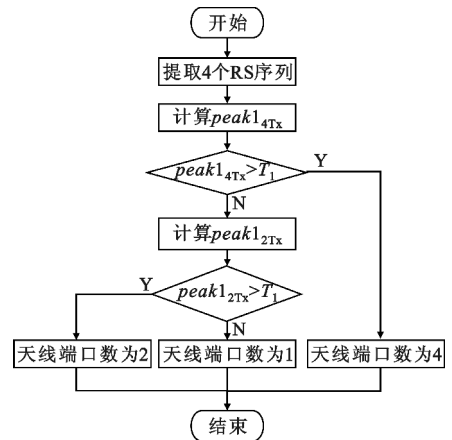


图3 基于 CRS 相关的天线端口检测流程
Fig.3 Flow chart of the CRS correlative algorithm

4 性能仿真及分析

由于天线端口检测是在用户进行小区搜索之后的过程,在实际环境中天线端口数据检测算法的测试数据会受到小区搜索算法性能的影响,为排除小区搜索步骤对天线端口检测算法的影响,本文仿真中不考虑小区搜索中多径所带来的影响。本节首先对本文算法在不同天线端口配置下的成功率进行仿真分析,然后在不同信噪比及不同残留频偏情况下对本文算法和功率检测算法进行仿真对比,最后分析了 3 种算法的时间复杂度。

4.1 本文算法在不同天线端口配置的对比

首先对本文给出的基于 CRS 重复性的天线端口数检测算法的性能进行仿真测试,仿真条件:频域使用 6RB(72 个子载波),时域使用一个子帧(常规 CP,对应 14 个 OFDM 符号);小区号为 1;天线端口数分别为 1、2 和 4。仿真测试不同信噪比下不同天线端口配置的检测成功率。根据仿真统计和实际的系统环境,仿真中 T_1 设置为 0.65,仿真 2 000 次,得到 3 种天线端口情况下的对比如图 4 所示。

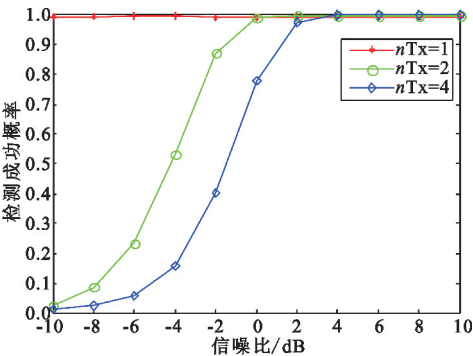


图 4 不同天线配置下检测成功率对比
Fig.4 Comparison of detection success rates with different number of antenna ports

从图中可以看出,本文给出的检测算法对于 3 种天线端口情况存在不同的检测成功率,对单端口情况,在仿真的各种信噪比下都有极高的检测成功率;对两端口情况,在信噪比低于 0 dB 时算法的检测成功率急剧下降;而对四天线端口情况检测成功率在信噪比低于 2 dB 时就急速下降。在信噪比大于 4 dB 时,本文给出的检测成功率对 3 种天线端口配置情况的检测成功率在 0.99 以上。

4.2 不同信噪比时两种检测算法的对比

使用 2 发 1 收的 MIMO-OFDM 系统,分别仿真不同信噪比的高斯白噪声对两种天线端口检测算法

的影响。根据仿真统计和实际的系统环境,功率检测算法中 ρ 在仿真中设置为 0.75,本文检测算法中 T_1 设置为 0.65,仿真 2 000 次,两种检测算法的对比如图 5 所示。

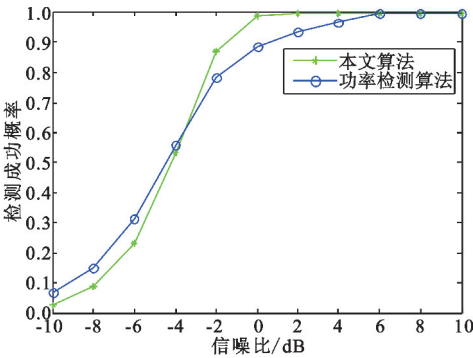


图 5 两天线时两种检测算法的成功率对比
Fig.5 Comparison of detection success rates between two detection algorithms

从图中可知,在信噪比大于 6 dB 时,两种解码算法均能够有效检测天线端口数;在信噪比低于 -4 dB 时,两种检测算法的成功率均下降到 0.6 以下;信噪比在 0 ~ 6 dB 时本文检测算法较功率检测算法有更高的检测成功率,且更稳定。信噪比为 0 dB 时本文算法的检测成功率为 0.989,而功率检测算法的检测成功率为 0.885。在信噪比高于 0 dB 时,本文检测算法较功率检测算法有 4 ~ 6 dB 的增益。

4.3 残留频偏下两种检测算法的对比

使用 2 发 1 收的 MIMO-OFDM 系统,分别仿真在残留频偏及信噪比情况对两种天线端口检测算法的影响。根据仿真统计和实际的系统环境,残留频偏分别取值 50 Hz、300 Hz 和 1 kHz,功率检测算法中 ρ 在仿真中设置为 0.75,本文检测算法中 T_1 设置为 0.65,仿真 2 000 次,两种检测算法的对比如图 6 所示。

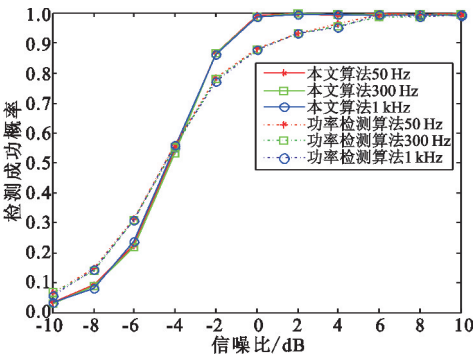


图 6 两天线残留频偏时两种检测算法的成功率对比
Fig.6 Comparison of detection success rates between two detection algorithms with different frequency offsets

从图 6 可以看到,在频偏从50 Hz ~ 1 kHz范围内变动时,两种天线端口检测算法的检测成功率没有较大改变,并且与图 6 中的检测成功率基本一致。通过该仿真可以证实,两种天线端口检测算法都具有较好的抗频偏性,在小区搜索可能存在残留频偏的情况下均能够有效的检测天线端口数。

4.4 算法时间性能对比

在理想情况下,对 3 种算法的天线端口数估计算法的运行时间做估计,仿真中采用 4 端口,传统端口检测算法按照端口数为 1、2、4 依次进行 PBCH 解码测试,直到第三次解码才能 CRC 校验正确。现将 3 种 PBCH 解码算法中 PBCH 信道解码算法的总时间和天线端口数估计模块的运行时间作对比,如表 1 所列。

表 1 3 种算法的仿真时间

Tab.1 Simulation time of three algorithms

检测算法	PBCH 译码	端口数检测
传统算法	1. 014 944	1. 014 944
功率检测算法	0. 401 926	0. 000 314
本文算法	0. 401 517	0. 000 092

从表中可以看出,本文算法和功率检测算法在做 PBCH 译码模块所消耗的时间比传统算法少,并且本文算法在天线端口检测模块所消耗的时间远小于传统算法和功率检测算法。

5 结束语

MIMO 技术作为 LTE 系统中两大关键技术之一,使得天线端口数估计在 LTE 系统中有着重要的作用。对其进行详细研究并进行改进,具有很大的现实价值。

本文通过对 LTE 天线端口估计算法的研究,提出了一种基于不同天线端口参考信号序列重复性的检测算法,可有效实现对天线端口数的检测,具有良好的抗噪声性能以及较低的运算复杂度。通过理论分析和仿真结果可知,在不同的信噪比下,本文给出的检测算法在不同天线端口配置中具有不同的检测成功率。信噪比高于2 dB时,能够很好检测出各种天线端口配置。对比本文算法与功率检测算法可知本文算法在信噪比高于0 dB时有很好的检测成功率,算法运行时间也有较大提升,验证了该算法的可行性,具有重要的工程应用价值,目前已成功运用在实际项目中。根据当前信噪比环境,进一步优化检

测门限值设置算法,是下一步需要研究的问题。

参考文献:

[1] 王映民,孙韶辉. TD-LTE 技术原理与系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:15-23.
WANG Yingmin,SUN Shaohui. TD-LTE technology principle and system design[M]. Beijing:People's Posts and Telecommunications Press,2010:15-23. (in Chinese)

[2] 张路. LTE 系统的下行无限分组调度研究[D]. 北京:北京邮电大学,2010.
ZHANG Lu. Research on packet scheduling for downlink of LTE system[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications,2010. (in Chinese)

[3] XU Y,YANG H,REN F,et al. Frequency domain packet scheduling with MIMO for 3GPP LTE downlink[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2013,12(4): 1752-1761.

[4] AHMED S,RATNARAJAH T,SELLSTHURAI M,et al. Iterative receivers for MIMO-OFDM and their convergence behavior[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2009,8(1):1505-1508.

[5] 陈发堂,陈贝. LTE 系统天线端口数检测方法的设计及实现[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2013,25(6):716-719.
CHEN Fatang,CHEN Bei. Design and realization on the number of antennas in LTE system[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition),2013,25(6):716-719. (in Chinese)

[6] CHEN F T,CHEN B,WANG D. Research on the number of antenna in LTE system[C]//Proceedings of 2013 International Conference on Computational and Information Sciences. Shiyuan,Hubei:IEEE,2013:1924-1927.

[7] DAS S K,PRAKASH O. Fast detection of number of antenna ports in LTE system[J]. International Journal of Research in Engineering and Technology,2015,4(3): 1107-1110.

作者简介:



蒋 青(1965—),女,重庆人,2007 年于重庆邮电大学获硕士学位,现为教授,主要研究方向为宽带网络技术和信息理论;
JIANG Qing was born in Chongqing,in 1965. She received the M. S. degree from Chongqing University of Posts and Telecommunications in 2007. She is now a professor. Her research concerns broadband network technology and information theory.

魏 珊(1993—),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为信号检测与估计。

WEI Shan was born in Chongqing,in 1993. She is now a graduate student. Her research concerns signal processing and detection.

Email:1033764762@qq. com