

改进的时分长期演进系统定时同步算法

田增山, 陈波*, 袁正午

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

(* 通信作者电子邮箱 690646444@qq.com)

摘要:针对现有时分长期演进(TD-LTE)系统定时同步算法复杂度过高以及抗频偏性能较差的问题,提出一种基于辅同步信号(SSS)时域共轭对称性的定时同步算法。该方法对接收信号本身进行滑动共轭对称相关运算,在明显的相关峰值处捕获SSS,然后利用捕获到的SSS的位置联合小区组内ID检测,实现循环前缀(CP)类型的判决,从而完成了定时同步。理论分析和仿真结果表明,该方法具有很强的抗频偏性能、低复杂度,且较常规算法可靠性有了很大提高,同时在多径信道下性能良好。该方法已成功应用于TD-LTE第三方终端探测系统中,验证了其可行性。

关键词:时分长期演进;定时同步;辅同步信号;循环前缀类型

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A

Improved time synchronization algorithm for time division long term evolution system

TIAN Zengshan, CHEN Bo*, YUAN Zhengwu

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: To deal with high computing complexity and bad anti-CFO (anti-Carrier Frequency Offset) performance of conventional time synchronization algorithms for Time Division Long Term Evolution (TD-LTE) system, an improved algorithm based on Secondary Synchronization Signal (SSS) conjugate-symmetric in time domain was proposed in this paper. For the algorithm, SSS location was estimated as the peak of cross-correlation of received signal and its time reversal. And by combining SSS location with the detection of cell group ID, CP (Cyclic Prefix) type could also be judged. Analysis and simulation results demonstrate that the improved algorithm has low computing complexity, good performs on anti-CFO and better reliability compared with normal methods, especially, it also has good performs in multi-path channels. By applying to the third party TD-LTE UE detecting system, the algorithm is proved to be effective and feasible.

Key words: Time Division Long Term Evolution (TD-LTE); time synchronization; Secondary Synchronization Signal (SSS); Cyclic Prefix (CP) type

0 引言

作为第3代移动通信的演进系统,3GPP长期演进(Long Term Evolution, LTE)系统弥补了3G与4G之间的巨大技术落差,为3G技术向4G技术的平滑过渡提供了平台,具有峰值速率高、传输时延短等重要特点^[1-3]。LTE以正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术作为关键技术之一,为了抵抗不同覆盖范围小区的符号间干扰,其设有常规循环前缀(Cyclic Prefix, CP)和扩展CP两种类型。在时分长期演进(Time Division Long Term Evolution, TD-LTE)系统中,用户通过小区搜索识别小区,读取小区的广播信息。定时同步作为小区搜索的第一步,目的在于快速准确地找到同步信号的位置,并获取小区组内ID,完整的定时同步还需判断CP类型,以完成OFDM符号定时同步。由于定时同步的性能好坏直接影响着整个下行链路的性能,所以对定时同步的研究具有重要的作用^[4-9]。

TD-LTE系统定时同步已经有很多算法,传统定时粗同步算法^[7]利用终端事先存储好的3组本地PSS序列分别与接收数据进行滑动相关运算实现定时同步,该方法具有较好的抗噪能力和鲁棒性,缺点是运算复杂度很高,不利于硬件实现,且抗载波频率偏移(Carrier Frequency Offset, CFO)性能太差。考虑到频偏的影响,文献[8]提出了分段相关的思想,利用终端事先存储好的3组本地主同步信号(Primary Synchronization Signal, PSS)序列分别与接收数据进行滑动分段相关运算,随着分段数的增加,其抗频偏性能增强,但抗噪性能变差,而且运算复杂度依然很高。文献[9]提出PSS时域镜像相关算法,利用PSS序列自身的对称性对接收信号进行滑动相关,该算法具有较低的复杂度,但抗频偏性能较差。在CP检测算法中,传统CP类型盲检测需要通过两次辅同步信号(Secondary Synchronization Signal, SSS)检测,其复杂度较高。文献[10]提出的CP类型判决只在扩展CP下有意义,常规CP性能无法改善。文献[11]提出了滑动相关算法判断CP

收稿日期: 2014-01-08; **修回日期:** 2014-02-24。 **基金项目:** 国家科学与技术重大专项(2012ZX03006002003); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA40041); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ130528); 重庆市教委优秀成果转化项目(Kjzh11206); 重庆邮电大学博士启动基金资助项目(A2012-33); 重庆邮电大学青年科学研究项目(A2012-77)。

作者简介: 田增山(1968-),男,河南信阳人,教授,博士,主要研究方向:个人通信、卫星导航、无线定位、信号检测与处理; 陈波(1988-),男,重庆合川人,硕士研究生,主要研究方向:TD-LTE物理层算法、无线定位; 袁正午(1968-),男,湖南人,教授,博士,主要研究方向:位置服务、移动定位、射频跟踪、地理信息系统集成。

类型,但是复杂度仍然偏高。

由于发射机和接收机的本地振荡器频率存在误差和多普勒频移,使得接收信号存在频率偏移,本文研究目的是寻找一种方法,在大频偏条件下能够快速准确地进行定时同步。

1 主、辅同步信号

在 TD-LTE 系统中,利用同步信号进行下行同步,小区基站每 5 ms 发送一次主同步信号(PSS)和辅同步信号(SSS),PSS 位于时隙 2 和 12 的第三个 OFDM 符号,SSS 位于时隙 1 和 11 的最后一个 OFDM 符号,两种同步信号都占用中心 62 个子载波,两边各预留 5 个子载波作为保护带。

主同步信号序列 $d(n)$ 由频域 Zadoff-Chu 序列生成,负责携带小区组内 ID 信息,其生成方式^[12]如下:

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{63}}, & n = 0, 1, \dots, 30 \\ e^{-j\frac{\pi u(n+1)(n+2)}{63}}, & n = 31, 32, \dots, 61 \end{cases} \quad (1)$$

其中, Zadoff-Chu 根序列索引 $u = 25, 29, 34$ 分别对应于 $N_{ID}^{(2)} = 0, 1, 2$ 。

根据 Zadoff-Chu 序列的性质,主同步信号具有良好的自相关性,并且在时域具有镜像对称性^[9]。

辅同步信号采用序列级联方式,它由两个长度为 31 的伪随机序列级联生成,子帧 0 和子帧 5 产生方式不一样

$$d(2n) = \begin{cases} s_0^{(m_0)}(n) c_0(n), & \text{子帧 0} \\ s_1^{(m_1)}(n) c_0(n), & \text{子帧 5} \end{cases} \quad (2)$$

$$d(2n+1) = \begin{cases} s_1^{(m_1)}(n) c_1(n) z_1^{(m_0)}(n), & \text{子帧 0} \\ s_0^{(m_0)}(n) c_1(n) z_1^{(m_1)}(n), & \text{子帧 5} \end{cases} \quad (3)$$

其中: $0 \leq n \leq 30$; m_0 和 m_1 的组合与 $N_{ID}^{(1)}$ 一一对应。

根据离散傅里叶逆变换 (Inverse Discrete Fourier Transform, IDFT) 的性质,实数序列进行 IDFT 之后具有共轭对称性,由于辅同步信号在频域由伪随机序列级联而成,所以在时域具有共轭对称性,即实部对称,虚部反对称^[13]。

2 定时同步改进算法

本章将 PSS 时域镜像相关算法与本文提出的 SSS 时域共轭对称相关算法进行理论分析对比,同时提出本文的 CP 检测方法,即联合 SSS 定时同步与小区组内 ID 检测,最后分析了本文算法的复杂度。

2.1 定时粗同步算法改进

文献[9]根据 PSS 时域信号存在镜像对称性,对时域信号进行镜像相关处理,在峰值点捕获 PSS。对于时域接收信号,处于 n 时刻的相关运算^[9]为

$$Q(n) = \sum_{m=1}^{N/2-1} r(n+m) \cdot r^*(n-m+N) \quad (4)$$

其中: N 是 IFFT 点数, $r(n)$ 为时刻 n 的接收信号。

PSS 时域镜像相关算法复杂度远低于传统 PSS 互相关算法,但存在频偏时性能急剧下降,不能满足 TD-LTE 定时同步的性能需求,本文考虑利用 SSS 时域共轭对称性,在接收端对时域接收信号进行滑动共轭对称相关来捕获 SSS,滑动相关公式如下

$$Q(n) = \sum_{m=1}^{N/2-1} r(n+m) \cdot r(n-m+N) \quad (5)$$

在相关峰值点捕获 SSS

$$\hat{n} = \operatorname{argmax} (|Q(n)|) \quad (6)$$

其中 \hat{n} 是估计出的 SSS 的起始位置。

忽略高斯噪声的影响,接收端 PSS 序列或者 SSS 序列^[18]表示为

$$y_k = x_k e^{j\frac{2\pi\epsilon k}{N}}; k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

其中 ϵ 是归一化频率偏移。

利用 PSS 和 SSS 序列做相关运算得到

$$Q_{\text{PSS}} = |x_1|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N-2)}{N}} + |x_2|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N-4)}{N}} + \dots + |x_{(N/2)-2}|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(4)}{N}} + |x_{(N/2)-1}|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(2)}{N}} \quad (8)$$

$$Q_{\text{SSS}} = |x_1|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N)}{N}} + |x_2|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N)}{N}} + \dots + |x_{(N/2)-2}|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N)}{N}} + |x_{(N/2)-1}|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N)}{N}} = e^{j\frac{2\pi\epsilon(N)}{N}} (|x_1|^2 + |x_2|^2 + \dots + |x_{(N/2)-2}|^2 + |x_{(N/2)-1}|^2) \quad (9)$$

对式(8)和式(9)取模得到

$$|Q_{\text{PSS}}| = \left| \sum_{m=1}^{N/2-1} |x_m|^2 e^{j\frac{2\pi\epsilon(N-2m)}{N}} \right| \leq \sum_{m=1}^{N/2-1} |x_m|^2 \quad (10)$$

$$|Q_{\text{SSS}}| = \sum_{m=1}^{N/2-1} |x_m|^2 \quad (11)$$

从式(8)和(10)可以看出频偏的存在造成了相位旋转,

使得当 $\epsilon \neq 0$ 时, $|Q_{\text{PSS}}| < \sum_{m=1}^{N/2-1} |x_m|^2$, 相关幅值的降低使得寻找最大值时不准确,从而导致定时同步点估计错误;而式(11)可看出频偏并没有带来 SSS 自相关幅值的变化,存在大频偏条件下能够准确地找到最大幅值点,因此 SSS 定时同步抗频偏效果更好。从式(4)和(5)可知, PSS 镜像相关算法与本文提出的算法复杂度一样,且远低于其他传统算法,复杂度分析见 2.3 节。

2.2 CP 类型检测算法改进

在 TD-LTE 系统中,必须确定 CP 类型才能完成定时同步,传统 CP 类型检测算法是通过找到 PSS 同步点之后,分别假设常规 CP 和扩展 CP 来确定 SSS 所在的 OFDM 符号的起始位置,进行 SSS 检测。文献[11]提出一种基于滑动窗判断 CP 类型的新方法:对接收信号在滑动窗内进行自相关,然后根据出现的相关峰值或平顶区的距离判断 CP 类型。第二种算法相比第一种算法复杂度有所降低,但两种算法复杂度都较高。

本文提出在 SSS 定时同步的基础上,利用在不同 CP 类型下 PSS 和 SSS 的位置关系进行 CP 类型检测,即联合 SSS 定时同步和小区组内 ID 检测。PSS 与 SSS 之间的位置关系: PSS 与 SSS 之间相差 3 个 OFDM 符号,对于 IFFT 点数 $N = 2048$,在常规 CP 情况下, PSS 与 SSS 之间相差 $6592 (2048 \times 3 + 144 \times 2 + 160)$ 个样点;扩展 CP 情况下, PSS 与 SSS 相差 $7680 (2048 \times 3 + 512 \times 3)$ 个样点。因此在不同的 CP 类型下, PSS 与 SSS 位置差相差 1088 个样点,本文正是利用该特点判断出 CP 类型,对于其他 N 值也同样适用。

为获得 PSS 根索引信息,可在 PSS 位置处使用本地序列 PSS 时域序列进行相关运算,其表达式为

$$R_u(i) = \sum_{m=0}^{N-1} r(i-1+m) \cdot z_u^*(m) \quad (12)$$

其中: $u = 25, 29, 34$; $i = n + 6592, n + 7680$; n 为式(6)估计出的 SSS 的位置。对应于最大峰值的 PSS 序列认为是发送的 PSS 序列,同时通过最大峰值处的 i 值可以判断出 CP 类型,即若 $i = n + 6592$, 则判定为 Normal CP, $i = n + 7680$, 则判定为 Extended CP。

由于该算法在有频偏影响时性能太差,文献[8]提出利用分段相关可以有效抵抗频偏带来的影响,所以本文在式(12)基础上结合分段相关的思想,得到公式如下:

$$R_u(i) = \sum_{m=0}^{M-1} \left| \sum_{k=0}^{N-1} r\left(i - 1 + k + m \cdot \frac{N}{M}\right) \cdot z_u^*\left(k + m \cdot \frac{N}{M}\right) \right|^2 \quad (13)$$

由文献[8]可知, M 的取值影响着抗频偏性能和抗噪性能,图1为 M 的取值对小区组内 ID 检测算法性能影响的仿真图,其中 $M = 1$ 表示不分段。从图中可以看出,随着 M 的增大,抗频偏性能越好,但是 $M = 4$ 比 $M = 6$ 的性能更加稳定,这是因为随着 M 的增加,相关峰值会降低,也会影响检测性能。TD-LTE 系统的频偏最大可以达到 30 kHz 左右,所以选择 $M = 4$ 最为适宜。

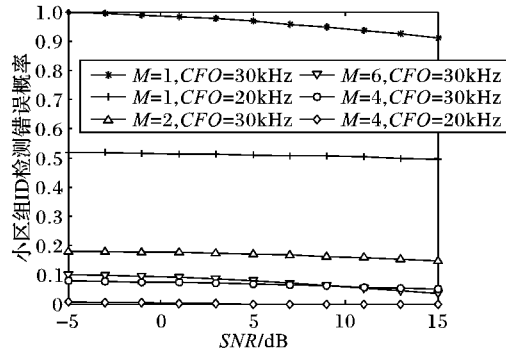


图1 M-part 小区组内 ID 检测算法性能

本文算法通过增加一次小区组内 ID 检测判决出 CP 类型,相比传统算法运算复杂度大幅降低,通过仿真分析,该算法结合了分段相关思想抗频偏效果明显。

2.3 复杂度分析

通过上述两小节的分析可知,本文改进算法主要由两部分组成:定时粗同步和 CP 类型检测。

1) 利用 SSS 的共轭对称性,对接收信号做滑动共轭对称相关运算,滑动半个无线帧长度,在具有明显的相关峰值处捕获 SSS,即为估计出的 SSS 的起始位置。

2) 利用 SSS 和 PSS 的位置关系,联合定时粗同步估计出的 SSS 位置和小区组内 ID 检测,判断出 CP 类型,从而完成定时同步。其中小区组内 ID 检测是利用接收信号与本地 PSS 序列做分段相关运算,最大峰值处对应的 PSS 序列为发送的 PSS 序列。

所以结合式(5)和(12)可知,对于长度为 T , 快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)点数为 N 的接收序列,本文基于 SSS 的定时同步方法与传统 PSS 互相关算法复杂度对比见表1。

表1 不同算法复杂度对比

算法	复数乘法次数
本文定时同步算法	$T(N/2 - 1) + 6N$
PSS 互相关算法	$3NT$

因此,当 $N = 2048, T = 153\,600$, 即存储 5 ms(半个无线

帧长度)数据时,本文方法的运算量是传统 PSS 互相关算法的 16.7%。本文的 CP 类型检测算法只需要做 6 次 PSS 互相关,而文献[11]的算法至少需要进行 $N + N_{CP}$ 次相关运算(其中 N_{CP} 为常规 CP 的数据长度),因此本文提出的 CP 类型检测算法复杂度远低于其他算法。

3 仿真分析

为了有效地验证算法的性能,本章给出不同信道环境下的仿真分析结果。仿真参数设定如表2。

表2 系统仿真参数

参数	参数值
信道带宽	20 MHz
采用频率	30.72 MHz
FFT 点数	2048
CP 类型	常规 CP
信道模型	EPA/EVA/ETU

为了降低运算复杂度,在满足采样定理的情况下,可在滑窗内进行 16 倍降采样处理,由于在仿真时涉及到阈值设定,本文仿真均采用归一化相关幅值。图2给出了 SSS 时域共轭对称相关检测峰值图,从中可以看出携带有 SSS 信号的位置点出现明显的相关峰,该峰值可以作为捕获 SSS 的定时信息。

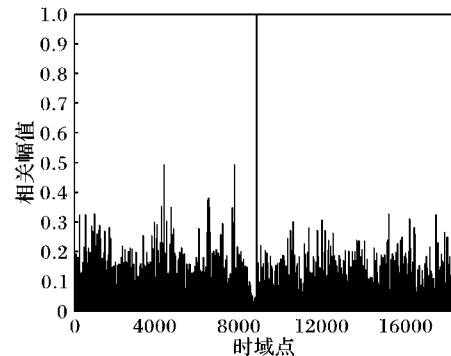


图2 SSS 时域共轭对称相关峰值

图3给出了在不同频偏情况下,PSS 时域镜像相关算法和 SSS 时域共轭对称相关算法的性能比较。PSS 镜像相关算法在存在频偏时性能急剧下降,在 ± 10 kHz 外,PSS 处的相关幅值低于 0.4,特别在整数倍频偏(± 30 kHz)时几乎接近于 0,所以在存在频偏时不利于 PSS 信号的有效捕获,本文算法在所有频偏下,SSS 处的相关幅值都达到了 0.9984,其性能几乎不受频偏的影响,抗频偏效果非常明显。

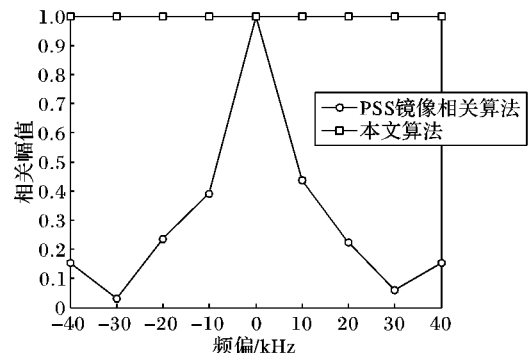


图3 频偏对两种算法的影响

为了进一步验证 SSS 时域共轭对称相关算法的健壮性,

在同时考虑频偏和高斯白噪声影响的情况下,对 EPA 5 Hz、EVA 70 Hz、ETU 300 Hz 三种多径衰落信道环境对算法进行仿真,分析成功捕获 SSS 的概率、定时粗同步偏移量以及 CP 检测成功率三个参量。在对使用数据加 20 kHz 的频偏,仿真次数设为 2000 次的情况下,捕获 SSS 时,由于多径衰落信道随机性过大,为了有效降低虚警概率和漏检概率,须设定一个 SSS 相关幅值的阈值,经仿真验证,阈值的设定影响到定时偏移量,阈值越高定时偏移量越小;反之,则越大。因此可以根据不同需求进行设定,本文将判定阈值设为 0.7。

图 4 给出了 4 种信道模型下成功捕获 SSS 的概率仿真图。从图中可以看出在只加频偏和 AWGN 时,成功捕获到 SSS 的概率达到 100%,说明本文提出的算法具有很好的抗频偏以及抗噪性能。在另外三种衰落信道环境下,随着信道环境的改善,其性能有所提高,在信道环境最差的 ETU 300 Hz, SNR 不低于 1 dB 的情况下,成功捕获到 SSS 的概率也可以达到 80%,在 EPA 5 Hz 和 EVA 70 Hz, SNR 不低于 3 dB 的情况下,成功捕获到 SSS 的概率可以达到 95% 以上。

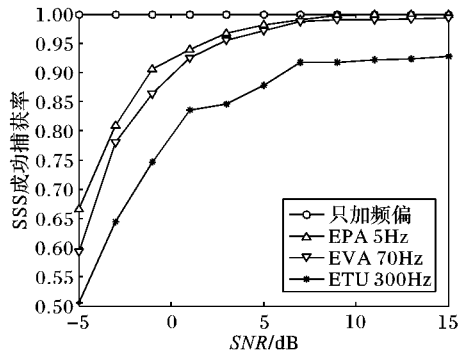


图 4 多径信道下 SSS 的捕获概率

图 5 给出了在 ETU 300 Hz 时,成功捕获到 SSS 的定时粗同步偏移量。从图中可以看出,SSS 定时同步之后,定时偏移量能够锁定在一个比较稳定的区域内,在信道环境最差时,也能控制在 120 个样点以内 (CP 长度为 144 个样点)。由于 OFDM 技术的特点,定时同步点能够锁定在 CP 范围内,可以通过信道均衡来消除这种相位频偏带来的影响。所以本文提出的算法能够达到 TD-LTE 系统定时同步的目的,证明了本文算法的可行性,同时也为小区搜索后续步骤大大降低了运算量。

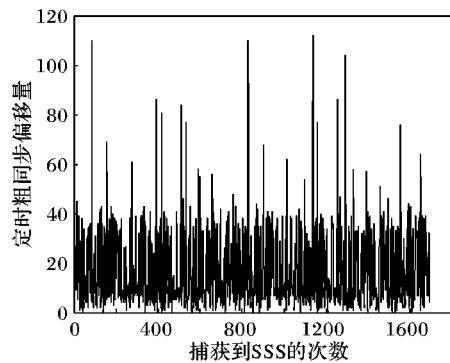


图 5 定时粗同步偏移量仿真图

图 6 给出了在 ETU 300 Hz 信道下,成功捕获到 SSS 的基础上,传统 CP 类型检测算法 (文献 [12] 中的滑动相关算法) 和本文算法的性能对比图,本文算法是在 20 kHz 频偏和无频偏两种情况情况下进行的仿真,传统算法是无频偏的,这是因

为传统算法是在频偏估计之后进行的。从图中看出,本文算法在有频偏下性能几乎一样,证明本文算法有良好的抗频偏性能,虽然略低于传统算法,但本文算法复杂度远低于传统算法,并且性能能够满足系统需求。

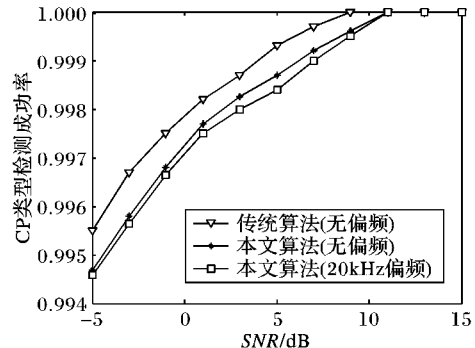


图 6 CP 类型检测成功率

4 结语

本文通过对传统定时同步算法的研究,针对 TD-LTE 系统存在大频偏的问题,提出了一种基于 SSS 时域共轭对称相关特性的算法,该算法可有效实现对 SSS 时域信号快速准确的捕获,具有良好的抗频偏性能,并且给出了一种利用 SSS 与 PSS 位置关系的 CP 类型检测算法,通过分段相关,能够有效抵抗频偏的影响,且复杂度远低于传统算法。通过对算法进行仿真,验证了该方案的可行性,本文算法具有复杂度低、抗频偏性能强的优势,具有重要的工程应用价值,目前该算法已经应用于 TD-LTE 第三方终端探测系统中。

参考文献:

- [1] LEE S B, CHOUDHURY S, KHOSHNEVIS A, *et al.* Downlink MIMO with frequency-domain packet scheduling for 3GPP LTE [C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Computer Communications. Piscataway: IEEE, 2009: 1269 - 1277.
- [2] LI Q H, LI G J, LEE W, *et al.* MIMO techniques in WiMAX and LTE: a feature overview [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(5): 86 - 92.
- [3] WANG L C, LIN Y C, FAN Y J, *et al.* A robust scheme in downlink synchronization and initial cell search for 3GPP LTE system [C]// Proceedings of the 2011 6th International Symposium on Wireless and Pervasive Computing. Piscataway: IEEE, 2011: 1 - 6.
- [4] XU W, MANOLAKIS K. Robust synchronization for 3GPP LTE system [C]// Proceedings of the 2010 IEEE Global Telecommunications Conference. Piscataway: IEEE, 2010: 1 - 5.
- [5] LI X, WANG J. TD-LTE system initial cell search and algorithm [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(10): 3875 - 3877. (李小文, 王俊. TD-LTE 系统小区初搜及算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28(10): 3875 - 3877.)
- [6] ZHANG Z, LEI M, LONG K, *et al.* Improved cell search and initial synchronization using PSS in LTE [C]// Proceedings of the 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1 - 5.
- [7] LINDOFF B, RYDEN T, ASTELY D. A robust cell search algorithm for 3GPP LTE [C]// Proceedings of the 2009 European Wireless Conference. Piscataway: IEEE, 2009: 303 - 307.
- [8] WANG Y. Research on cell search algorithm in TD-LTE systems [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011. (王远欢. TD-LTE 系统小区搜索算法研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2011.)

(下转第 1987 页)

应时间也随之增大,但 JUDDIV3 系统的服务发现时间几乎比 PUDDI 多两倍。PUDDI 系统标准差比 JUDDIV3 系统小得多,这说明 PUDDI 系统受用户增加的影响小,系统更稳定。

表2 查询响应时间对比

测试对象	平均值	最小值	最大值	中间值	标准差
JUDDIV3	0.120	0.024	0.174	0.134	0.039
PUDDI	0.064	0.037	0.114	0.066	0.015

5 结语

海量的 Web 服务管理需要一个可扩展的分布式服务注册系统。本文设计了基于结构化 P2P 的服务注册系统,提出了基于 Pastry 的服务注册系统调度和通信算法。系统在高并发情况下,提高了服务注册和发现的效率,可以解决单台注册系统带来的性能瓶颈和单点故障问题,能够适应大规模 Web 服务的注册和访问,可以作为云计算服务环境的重要支撑,具有很好的应用前景。下一步我们将在 PUDDI 系统的基础上进行语义扩展,实现 Web 服务的模糊查询。

参考文献:

- [1] REN Q. Research on verification of Web service based on abstraction refinement and combination technology[D]. Suzhou: Soochow University, 2011. (任强. 基于谓词抽象与精化技术的 Web 服务验证研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2011.)
- [2] WANG M. Research and implementation of a highly available Web services platform[D]. Xi'an: Xidian University, 2012. (王萌. 一种高可用 Web 服务平台的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.)
- [3] LIU J X, LIU J, CHAO L. Design and implementation of an extended UDDI registration center for Web service graph[C]// ICWS 2007: Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Web Services. Piscataway: IEEE, 2007: 1174-1175.
- [4] TAMILARASI K, RAMAKRISHNAN M. Design of an intelligent search engine-based UDDI for Web service discovery[C]// ICRITIT 2012: Proceedings of the 2012 International Conference on Recent Trends In Information Technology. Piscataway: IEEE, 2012: 520-525.
- [5] YAO Y, CAO J, LIU B, *et al.* Scalable mechanism for semantic Web service registry and discovery[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2010, 40(2): 264-269. (姚毅, 曹玖新, 刘波, 等. 基于语义的可扩展 Web 服务注册与发现机制[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40(2): 264-269.)
- [6] GUO M-Q, HUANG Y, LUO X-G, *et al.* Design and implementation of a distributed Web service directory in SOA-oriented urban spatial information sharing platform[C]// PACIA 2009: Proceedings of Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications. Piscataway: IEEE, 2009, 1: 127-130.
- [7] DU Z, HUAI J. Research and implementation of an active distributed Web service registry[J]. Journal of Software, 2006, 17(3): 454-462. (杜宗霞, 怀进鹏. 主动分布式 Web 服务注册机制研究与实现[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 454-462.)
- [8] ZHANG C, CAO Y, LIU D, *et al.* I-Wander: A Web service discovery method for unstructured P2P network[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2008, 26(6): 521-525. (张常有, 曹元大, 刘丹, 等. I-Wander: 一种面向非结构化对等网络的 Web 服务发现方法[J]. 北京理工大学学报, 2008, 26(6): 521-525.)
- [9] SIOUTAS S, SAKKOPOULOS E, MAKRIS C, *et al.* Dynamic Web service discovery architecture based on a novel peer based overlay network[J]. Journal of Systems and Software, 2009, 82(5): 809-824.
- [10] JUDDI[EB/OL]. [2014-01-17]. <http://juddi.apache.org/>.
- [11] HE Q, WANG F, CHAI H, *et al.* Survey of Web services authentication technology[J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2013, 33(3): 246-252. (何倩, 王芳, 柴华昕, 等. Web 服务认证技术综述[J]. 桂林电子科技大学学报, 2013, 33(3): 246-252.)
- [12] ROWSTRON A, DRUSCHEL P. Pastry: Scalable, decentralized object location, and routing for large-scale peer-to-peer systems[C]// Middleware 2001, LNCS2218. Berlin: Springer, 2001: 329-350.
- [13] LUO Z, ZHU Y, CHENG M. Web service testing tool SOAPUI and its analysis[J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(5): 155-157. (罗作民, 朱燕, 程明. Web 服务测试工具 SOAPUI 及其分析[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(5): 155-157.)
- [14] Mercury Interactive, LoadRunner[EB/OL]. [2014-01-10]. <http://www.mercury.com/us/products/loadrunner/>

(上接第 1977 页)

- [9] YANG X, XIONG Y, JIA G. Fast acquisition of primary synchronization signal in LTE system[J]. Journal of Applied Sciences, 2012, 30(1): 14-18. (杨秀梅, 熊勇, 贾国庆. 一种 LTE 系统的主同步信号快速捕获方法[J]. 应用科学学报, 2012, 30(1): 14-18.)
- [10] KIM Y B, CHANG K H. Complexity optimized CP length pre-decision metric for cell searcher in the downlink of 3GPP LTE system[C]// Proceedings of the 2009 Personal Indoor and Mobile Radio Communications. Piscataway: IEEE, 2009: 895-899.
- [11] LIN Y, YUE G, YIN C. Improvement of CP type decision and SSS detection algorithm in cell search for LTE system[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2012, 42(2): 499-504. (林雁, 乐光新, 尹长川. LTE 小区搜索中循环前缀类型判决和辅同步信号检测算法的改进[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42(2): 499-504.)
- [12] 3GPP TS 36.211 v9.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 9)[EB/OL]. [2013-10-10]. <http://www.3gpp.org>.
- [13] TSAI Y H, SANG T H. A new timing synchronization and cell search procedure resistant to carrier frequency offsets for 3GPP-LTE downlink[C]// Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Communications in China. Piscataway: IEEE, 2012: 334-338.