

基于遗传算法的LTE网络定位服务时延估计

丘艷玮,余天尧,戴伟强,王宝全,陆 音
(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210023)

摘要:为降低NLOS环境对无线定位系统的干扰,文中提出了一种基于遗传算法的定位服务时延估计方案。该方案利用遗传算法启发性随机搜索的能力,求出NLOS环境下基站与移动台间的直视径时延。以各路径的到达时延以及到达角作为遗传算法的初始化信息,构建具有自适应性的适应度函数,通过对目标函数求解得到直视径时延。仿真结果表明,该方案与传统的基于广义互相关的时延估计方案相比,可以有效降低NLOS环境下的环境噪声。在目标函数基本能够描述环境的前提下,遗传算法具有快速求解复杂环境下优势解的能力,可以满足各类依赖定位服务的应用对定位服务响应速度以及定位精度的要求。

关键词:遗传算法;定位服务;时延估计;LTE;NLOS

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)05-0149-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.05.032

Time-delay Estimation of Positioning Service in LTE Networks Based on Genetic Algorithm

QIU Jin-wei, YU Tian-yao, DAI Wei-qiang, WANG Bao-quan, LU Yin

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to reduce the interference of the NLOS environment to the wireless location system, a time-delay estimation scheme based on genetic algorithm is proposed. This scheme utilizes the characteristics of heuristic stochastic search ability of genetic algorithm, and the delay of LOS-path under NLOS environment can be obtained. Firstly, it uses the time of arrival and the angle of arrival as the original information in genetic algorithm. Secondly, according to the original information, it constructs an adaptive fitness function. Finally, the solution of the objective function is calculated, and the delay of LOS-path is obtained. The simulation shows that compared with the traditional time-delay estimation based on generalized cross correlation, the proposed scheme can effectively reduce the ambient noise under NLOS environment. On the premise of the objective function being able to describe the environment, genetic algorithm has the ability of fast solving the dominant solution under the complex environment, and it can meet the requirements of positioning service response speed and positioning accuracy for various kinds of position-service-based applications.

Key words: genetic algorithm; positioning service; time-delay estimation; LTE; NLOS

0 引言

随着LTE网络的发展,人们对网络定位服务精确度的要求越来越高。虽然可以通过提高时延估计精度来提升定位精度,但却面临着远近效应、多径干扰以及NLOS干扰等难题^[1]。当前,广义互相关算法多作为时延估计的核心算法,该算法虽然具有很多优点,但是对于NLOS干扰的抗扰能力比较差。为了降低NLOS环境带来的影响,文中将遗传算法作为直视径时延估计的主算法,并使用信号到达角作为误差修正因子,从

优化求解流程、主动修正误差两方面着手来降低NLOS的影响。

1 OTDOA定位方法

3GPP组织定义增强型小区ID(E-Cell ID)定位方法、检测到达时间差(OTDOA)定位方法和全球卫星导航系统辅助(A-GNSS)定位方法为三种标准化的定位解决方案^[2]。运营商可根据小区半径、自适应天线技术、路损和定时估计精度等实际情况,来决定采用其中

收稿日期:2014-12-06

修回日期:2015-04-08

网络出版时间:2016-05-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271236);南京邮电大学大学生创新训练计划省级重点项目(SZDG2013012)

作者简介:丘艷玮(1993-),男,研究方向为电磁场与无线技术;陆 音,博士,副研究员,研究方向为无线通信。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160505.0814.016.html>

一种或几种定位方式^[3]。我国当前的 LTE 基站覆盖大多存在着弱覆盖的问题^[4], OTDOA 定位方式较其他两种更为适合当前情况。文中仿真中使用 OTDOA 定位方法,其主要的定位方式有到达时间 (TOA)、到达时间差 (TDOA)、到达时间和 (TSOA)、到达角 (AOA) 以及前三者与后者的混合定位方式 (TOA—AOA, TDOA—AOA, TSOA—AOA)。文中选取到达时间与到达角 (TOA—AOA) 的混合定位方式,并在仿真时使用定位参考信号作为时延估计的参考信号。

1.1 定位参考信号

定位参考信号是由 LTE R9 规范^[5]定义,针对 OFDM 系统而设计,配置于 LTE 下行链路的无线帧中。定位参考信号的物理层过程是:首先产生 31 位 Gold 伪随机序列,再映射到子帧资源块中,然后添加循环前缀 (CP),最后按照规范通过数模转换由天线的 6 号端口发射。LTE 下行链路采用以 OFDM 技术为核心的动态频谱资源规划,子载波带宽为 15 kHz,系统带宽可由子载波数控制。OFDM 技术在时延估计方面具有以下优势:将串行数据分配到 N 条并行子信道上,可以有效抗多径扩展^[6];在帧之间设置保护间隔 (GI),利用保护间隔填充循环前缀,有效地抑制了由于多径造成的符号间干扰。定位参考信号的消息序列为 Gold 伪随机序列,具有非常良好的自相关性,可以抑制信道白噪声的影响^[7]。国内有研究者利用定位参考信号的上述特点,对接收信号进行干扰消除处理,最终得到高精度的估计值^[8]。

1.2 仿真模型

文中仿真分为两部分:第一部分为信号及信道仿真,第二部分为时延估计算法仿真。第一部分的功能是:按照定位参考信号的定义产生定位参考信号时延信息^[9],再把信号时延值以及各信号的到达角作为第二部分仿真的输入信息。第二部仿真为遗传算法的时延估计,其输出为直视径时延的估计值。

2 基于遗传算法的时延估计

文中使用遗传算法来进行数据分析,通过构建对环境模型具有自适应性的适应度函数来搜索被隐含在各类噪声中的直视路径。遗传算法由适应度函数、遗传算子 (包括选择算子以及交叉、变异算子) 两大部分组成^[10],算法的流程图如图 1 所示。

适应度函数需要体现所求解在当前环境下的特征,种群交替则是通过遗传算子使种群产生差异,在两者的共同作用下,不断产生向优势“进化”的个体。文中描述个体使用的遗传编码方式为二进制编码^[11],其生物学意义为:求解对象是时延的大小,是一个标量,使用二进制可以剥离遗传编码中的其他元素,使进化

的方向不偏离时延大小这一轨道。下文将叙述遗传算法在时延估计中的其他关键组成。

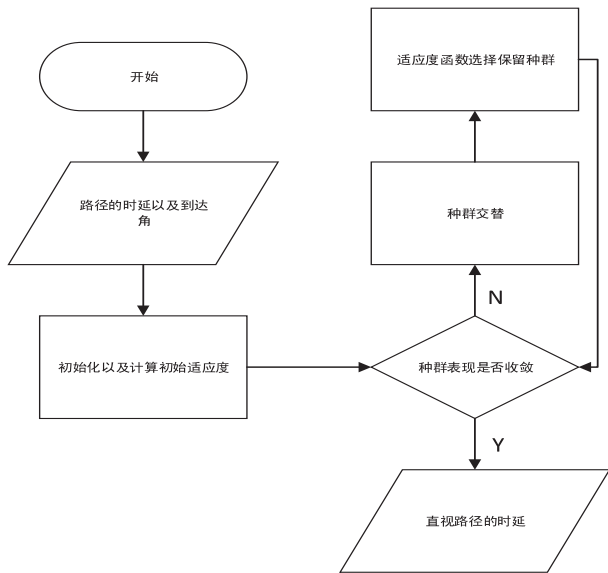


图 1 遗传算法流程图

2.1 NLOS 抑制自适应适应度函数及初始化

适应度函数是遗传算法求解的关键所在,构建一个合理的适应度函数对于仿真实验具有非常重要的意义。但是在 NLOS 以及多径干扰下,静态地描述问题是不够全面的,所以需要适应度函数具有较高的自适应性^[12]。文中采用 NLOS 径单次反射椭圆模型^[13],如图 2 所示。图中 NLOS 径的到达角与直视径的差为 $\Delta\theta = \theta_{\text{NLOS}} - \theta_{\text{LOS}}$ 。根据模型计算估计,在小区半径为 1 km 的蜂窝小区内几乎不存在大于直视径 $\frac{(1 + \sin\Delta\theta)}{\cos\Delta\theta}$ 倍的 NLOS 径。

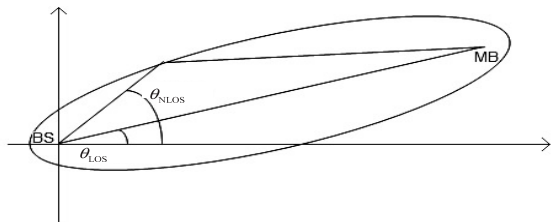


图 2 单次反射椭圆 NLOS 模型示意图

同样可预测,不可能存在小于直视径 $\sqrt{2} \sin(\Delta\theta + \frac{\pi}{4})$ 倍的 NLOS 径。NLOS 径的时延大小可以约束为:

$$\sqrt{2} \tau_{\text{LOS}} \sin(\Delta\theta + \frac{\pi}{4}) \leq \tau_{\text{NLOS}} \leq \frac{1 + \sin\Delta\theta}{\cos\Delta\theta} \tau_{\text{LOS}}, \text{即可将信号的到达角根据上述不等式加权平均为直视路径辅助}$$

$$\text{判别因子 } \lambda_{\theta} = \frac{A(\frac{1 + \sin\Delta\theta}{\cos\Delta\theta}) + B(\sqrt{2} \sin(\Delta\theta + \frac{\pi}{4}))}{|A + B|}.$$

对于所有接收到的时延,有 $\tau = \lambda_{\tau} \tau_{\text{LOS}} = \lambda_{\tau} \lambda_{\theta} \tau$,可以构建 NLOS 自适应适应度函数 $f(\tau, \theta) = \frac{\tau}{\lambda_{\theta} \lambda_{\tau}}$,当此适应

度函数的值为1时为最适个体。定义基因编码表现型范围为 $\left[\frac{\sqrt{2}}{2}\max(\tau), 1.5\max(\tau)\right]$,可以确保直视路径存在于此范围中。

初始化种群大小与所得路径数量有关。初始化个体编码为长度32位的随机二进制码,个体到达角差的生成公式为 $\Delta\theta=\xi\gamma\left(asin\tau-\frac{\pi}{4}\right)$ 。其中, γ 为 $[1,\sqrt{2}]$ 间的随机数, ξ 取值为等概率出现的1或-1,设定当 ξ 为1时认为到达角的差为正方向。

文中所构造的适应度函数与传统的适应度函数相比,拥有由各路径时延以及到达角提供的先验信息,在搜索方向上具有更强的稳定性,可以避免出现算法不收敛的情况,同时也保证了最优解是可取的。种群初始化时所设定的种群表现型范围保证了最优个体存在于表现型的范围中,从根本上保证了最优解的存在。

2.2 选择算子

为了更加贴近遗传过程,文中采取加权轮盘的选择算法^[14],先建立生存与灭亡概率均为50%的轮盘,将生存概率与个体归一化适应度进行运算处理,将运算结果作为个体最终的轮盘刻度。此算法不仅保证了最优个体一定存活,还保留了次优解消失的概率,一定程度上抑制了次优解。算法设置父本数量的大小为不大于种群总数的一半。从极端情况考虑:父本数量的最多情况为种群数量的一半,即所有优势个体都存活;最少情况为仅剩当前最适应个体,即除了局部最优解之外的所有次优解都消失。选择算子的流程图如图3所示。

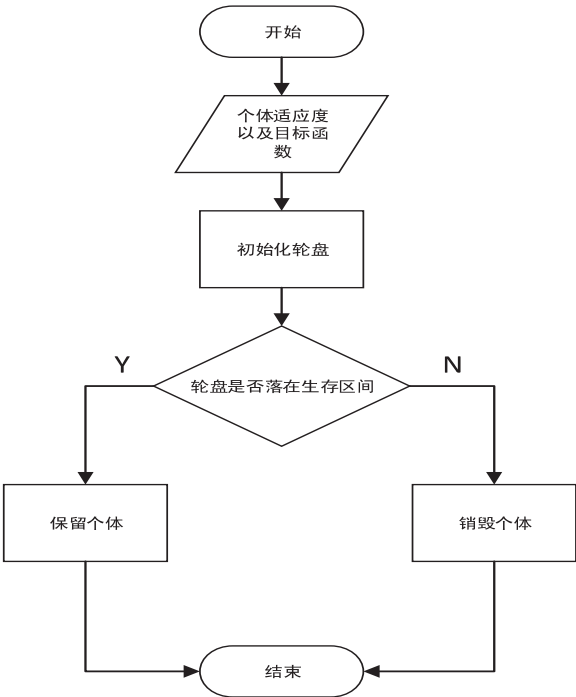


图3 选择算子流程图

2.3 交叉、变异算子

交叉、变异算子的生物学意义为:交叉使个体内在的优势基因富集,变异产生新的基因型。文中所定义的基因为标量基因,交叉与变异可以等价为不同机理产生新编码的方式、提供新的个体表现型的过程。这种复合新编码的产生机制虽然增强了算法的搜索能力,但是会导致遗传算法的收敛曲线不平滑。文中使用的交叉、变异算子的模型都是模拟低等原核生物,模型较为简单。使用此模型的原因有三个:

- (1)定位服务要求算法具有高效的特点,此模型目的明确、操作简单,可以大规模并行运算,符合定位服务的需求;
- (2)在遗传算法中所需要评估的个体只有时延的大小,不需要变异操作提供新的性状,变异操作仅作为交叉操作的补充;
- (3)文中仿真模型使用的编码方式为二进制编码,编码与具体适应度之间不存在一一映射的关系,因此交叉操作提供变化趋势稳定的随意个体。

遗传算法中预期收敛性可以用Vose-Liepins模型、Markov链模型或公理化模型来预测^[9]。文中采取的交叉因子 $P_c=0.25$,变异因子 $P_m=0.01$,通常情况下在40代内收敛。为了更好地进行观察,每次运行的仿真代数设为100。

3 仿真结果与分析

文中的分析对象为时延大小,使用均方根误差(RMSE)为误差分析指标。首先比较不同NLOS径功率比(NLOS及其他路径的功率和与LOS径功率之比,下文简称为“功率比”)情况下,文中算法与广义互相关算法(GCC)的性能,如图4所示。

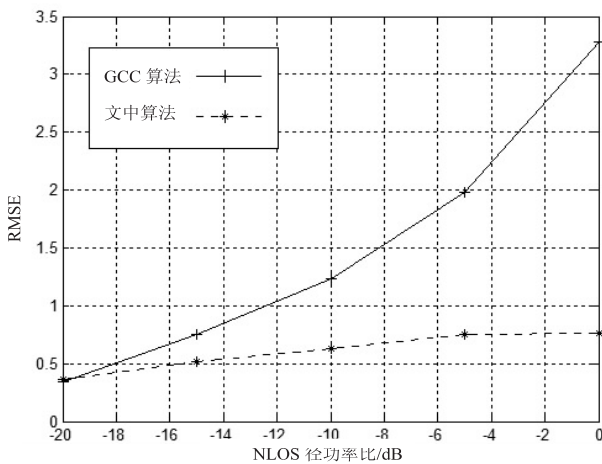


图4 文中算法与广义互相关算法的性能比较

由图4可见,GCC算法在NLOS与多径环境下性能较差。由于多径信号以及NLOS干扰会使接收信号的功率谱出现大量的旁瓣,且在功率比超过0dB时,

出现非 LOS 径功率大于 LOS 径功率的情况,此时互相求解得到的时延只有可能是 NLOS 径的。文中算法之所以能有效改善 NLOS 环境下时延估计的性能,是因为时延估计方案不再以信号功率时延为唯一参考对象。文中选取各路径的时延以及到达角为先验信息,初始化适应度函数,通过遗传算法将多径信号以及 NLOS 干扰中包含的环境信息提取出来,用于修正适应度函数,再通过选择算子在种群迭代中筛选出局部最优解。虽然文中算法可以利用多径信号以及 NLOS 干扰来降低它们带来的影响,但是并不意味着可以彻底消除这些影响。

为了研究传播路径中是否存在直视径对算法的影响,文中分别对直视径存在与不存在这两种情况进行了仿真。图 5 为 -20 dB 功率比以及 25 dB 信噪比条件下接收机所接收信号存在直视径时的时延估计,图 6 为在图 5 条件下去除直视径信息的时延估计。

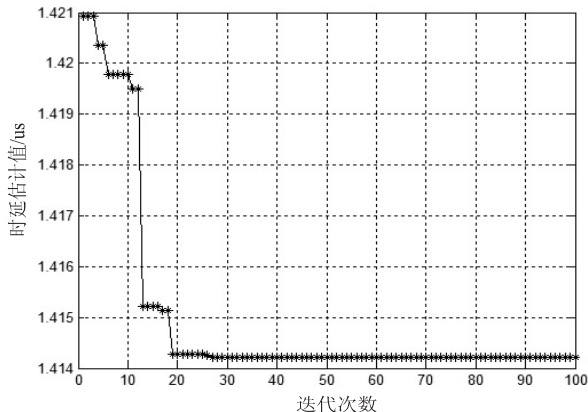


图 5 存在直视径时的时延估计

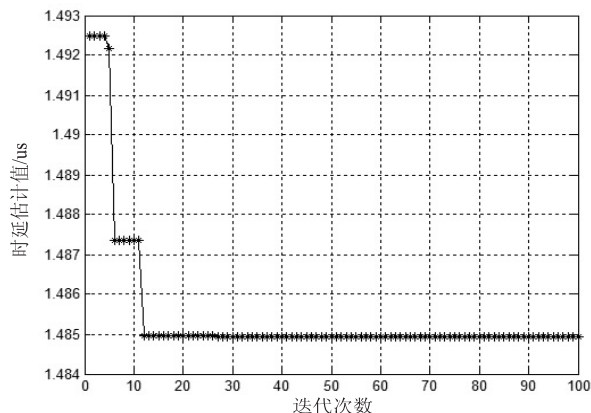


图 6 同状态去除直视径的时延估计

仿真结果表明:存在直视径时的算法性能比不存在直视径时优秀,可以推断先验信息的准确性与算法的性能之间存在着相关性。存在一个先验信息准确性阈值,超过该阈值后算法性能迅速劣化,并将导致算法不收敛。

4 结束语

在 LTE 网络中,定位参考信号具有自相关性强的特点,对串扰以及信道中的白噪声具有较强的抑制能力。因此,只要抑制无线信道附加的多径干扰以及 NLOS 噪声干扰,就可以通过 OTDOA 定位方式获得高精度的位置信息。文中方法在仿真上具有较好的性能,但是在使用时却具有一定的局限,它要求先验信息具有严格的准确性,而目前大部分模型所提供的先验信息不具有严格的准确性。作者后续将对先验信息的准确性与算法性能的优化开展进一步研究,期望为算法提供一个先验信息的误差检测以及误差反馈机制,使算法在实际应用中有良好的性能表现。

参考文献:

- [1] 沈 嘉,索士强,全海洋. 3GPP 长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [2] 3GPP TS 36.355 v9.0.0,3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; E-UTRA; LTE positioning protocol[S]. [s. l.]:[s. n.],2009.
- [3] 徐莹莹,延凤平. TD-LTE R9 定位技术研究[J]. 移动通信,2012,36(19):11-14.
- [4] 王 博. LTE 覆盖的评估、定位和优化[J]. 移动通信,2014,38(17):33-33.
- [5] 3GPP TS 36.211 v9.0.0. LTE. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation [S]. [s. l.]:[s. n.],2010.
- [6] 尹长川,罗 涛,乐光新. 多载波宽带无线通信技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004.
- [7] 于洪波. 无线节点定位算法研究[D]. 济南:山东大学,2013.
- [8] 王宏禹,邱天爽. 自适应噪声抵消与时间延迟估计[M]. 大连:大连理工大学出版社,1999.
- [9] 陈 园. LTE 系统仿真平台搭建及其定位技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2013.
- [10] Choenni S. Design and implementation of a genetic based algorithm for data mining[C]//Proc of the 26th international conference on very large databases. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers,2000:33-42.
- [11] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor: University of Michigan Press,1975.
- [12] 杨丰瑞,徐 超. LTE 系统中的多径时延估计算法[J]. 广东通信技术,2011,31(10):62-65.
- [13] Venkatraman S. Location Using LOS range estimation in NLOS environment[C]//Proc of IEEE VTC. [s. l.]: IEEE,2002: 856-860.
- [14] 徐宗本,张讲社,郑亚林. 计算智能中的仿生学:理论与算法[M]. 北京:科学出版社,2003.