

doi:10.3969/j.issn.1001-2400.2013.02.023

一种支持 LTE 语音业务的优先级半持续调度机制

卢美莲, 张 锴

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 根据用户等级、用户设备对物理资源块(PRB)的需求量、用户设备的平均信道质量以及平均传输速率等因素来计算长期演进语音(VoLTE)用户设备的优先级,并将优先级机制引入到长期演进(LTE)无线资源的半持续调度机制中,提出了一种基于用户优先级的 VoLTE 无线资源调度方案. 该方案能够避免频繁的无线资源调度信令和语音数据竞争有限的共享无线资源,有效提高无线资源的利用率和调度效率,提高了系统支持的 VoLTE 用户容量和用户满意度. 通过 NS3 仿真平台,验证了该方案对于 LTE 语音业务的性能优化.

关键词: 长期演进; 资源分配; 分组调度; IP 语音业务

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2013)02-0142-06

Priority semi-persisting scheduling scheme for voice over LTE service

LU Meilian, ZHANG Kai

(State Key Lab. of Networking and Switching Tech., Beijing Univ. of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper proposes a new scheduling algorithm for allocating the LTE radio resource, Priority Semi-Persisting Scheduling(PrSPS). PrSPS calculates the priority of the user equipment using the user grade, PRBs needed, average channel quality and average transmission rate. Adopting this priority method in semi-persisting scheduling mechanism can avoid the competition between resource scheduling signalling and voice data, improve the radio resource utilization and scheduling efficiency, increase the user capacity of VoLTE and improve satisfaction of VoLTE users. Using the NS-3 simulation platform, the paper evaluates the performance of PrSPS.

Key Words: LTE; resource allocation; packet scheduling; VoIP service

移动互联网技术的快速发展对无线通信技术提出了新的需求. 长期演进(Long Term Evolution, LTE)是一种基于全 IP 的无线通信技术,以其高速的上下行数据传输速率、灵活的带宽配置、简化的网络体系结构,成为 4G 标准最强有力的竞争者. LTE 无线接口的资源是共享的,信令和语音同时竞争这些共享的资源来进行传输^[1]. 因此,如何充分利用并合理分配 LTE 的无线资源进行语音传输是一个需要研究的课题.

目前可能用于 LTE 语音(Voice over LTE, VoLTE)业务的无线资源调度方案有动态调度、半持续调度、组调度等. 动态调度是通用的调度方式,提升动态调度性能的改进算法包括正比公平调度算法^[1]、改进的最大权重时延优先算法^[2]等. 针对语音业务数据包小、数量多、间隔固定等特性,半持续调度被用于语音业务的调度中,这种方案相比动态调度能够大大减少信令开销. 但在现有半持续调度方案中,用户设备的请求都是先到先服务的,这虽然保证了公平性,但没有充分利用无线资源. 半持续调度中信道质量较差的用户和信

收稿日期:2012-03-31 网络出版时间:2012-11-16

基金项目:国家重大专项资助项目(2011ZX03005-004-02)

作者简介:卢美莲(1967-),女,副教授,E-mail: mllu@bupt.edu.cn.

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1076.TN.20121116.0924.201302.176.013.html>

道质量较好的用户具有同样的优先级使用资源,这样信道质量较差的用户的重传数据会对资源造成不必要的浪费,还会导致其他用户设备的调度请求等待超时,从而降低了无线资源的利用率.针对上述问题,笔者根据用户等级、用户设备对物理资源块(Physical Resource Block, PRB)的需求量、平均信道质量以及平均传输速率等因素来计算 VoLTE 用户设备的优先级,并将优先级机制引入到 LTE 半持续调度机制中,提出了一种基于用户设备优先级的 VoLTE 无线资源调度方案.

1 VoLTE 现有调度机制

当前 LTE 主要有 3 类上行调度算法:动态调度、半持续调度、组调度.

1.1 动态调度

动态调度是一种通用的调度方法,对每一个无线资源调度的基本单位 PRB,调度器都根据用户设备的资源请求来分配资源.在 VoLTE 这种调度频繁的应用中,动态调度的信令会消耗较大的无线资源.典型的动态调度算法包括最大载干比算法、轮询算法、比例公平算法^[1],此后又有学者提出了改进的最大权重时延优先算法^[2]等增强型算法,一定程度上增强了动态调度的性能.但是对于 VoLTE 等实时业务来说,动态调度算法的改进对于业务的优化有限.

1.2 半持续调度

半持续调度(Semi-Persisting Scheduling, SPS)^[1]是一种针对 VoLTE 等实时业务能减小信令开销、增大系统容量的调度算法.它的核心思想是依据语音业务包的尺寸小且发送间隔相等、发送频繁的特点,减少大量调度信令所占用的无线资源.在半持续调度中,用户设备只需要在新的语音会话开始建立时,向演进型基站(evolved Node B, eNB)申请使用调度资源,此后以 20 ms 为周期一直占用同一位置的 PRB 时频块,直到连续语音结束.此后对于静音数据包和重传语音包采用动态调度方案,周而复始直到会话结束.

1.3 组调度算法

组调度(Group Scheduling)是由摩托罗拉在 2006 年提出来的调度技术^[3],基本思想是把用户划分成几个用户组,用户只能申请组内的资源.在每一个组的区间到达时,eNB 会统一处理与此组相关的设备用户(UE)资源申请,并向 UE 发送资源分配指示,以减少资源竞争的冲突.

1.4 现有调度方案对比

VoLTE 重要的系统性能指标之一是用户容量. VoLTE 的用户容量定义为一个小区内 95% 的用户为满意用户时的用户数,而满意用户是指一个用户在 60 s 时间内不能被正确调度的数据包个数占此用户发送数据包的比例小于 2%^[4].文献[5-8]对 VoLTE 系统的性能进行了研究,其中文献[3,8]对这 3 种解决方案的 VoLTE 容量进行了仿真和对比,如图 1 所示.

从图 1 可以看出,对于 VoLTE 业务,半持续调度相比动态调度能够大大减少信令开销,提高无线资源的利用率.所以对于 VoLTE 业务,目前最好的调度方案是半持续调度.但由于在半持续调度方案中,用户请求都是先到先服务的,这种相对公平的调度方式会导致信道质量差的用户的重传数据占用太多的无线资源,从而降低了整个系统的无线资源利用率.而动态调度机制中根据信道质量等参数确定调度优先级的方式,能够获得比轮询调度更好的性能.因此,如果将动态调度的优先级机制引入到半持续调度中,应能够进一步提高系统的 VoLTE 用户容量.

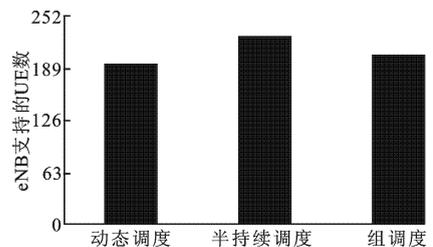


图 1 3 种调度算法的用户容量对比

2 基于优先级的半持续调度方案

2.1 PrSPS 模型设计

文中提出的基于优先级的半持续调度(Priority Semi-Persisting Scheduling, PrSPS)方案的设计主旨是,针对半持续调度中无线资源利用率有待提高的问题,在其基础上引入了用户优先级评定机制,并根据优先级分配 PRB 资源. PrSPS 的目标是减少信令开销,提高系统的用户容量,降低用户因始终无法获得资源而造成

饿死的可能性,并在尽可能提高资源利用率的情况下保证公平性。

PrSPS 模型如图 2 所示.图 2 中,PRB 是物理资源的抽象,MAC 层通过分配 PRB 来实现对物理层的时频资源进行调度.调度器是 eNB MAC 层的调度核心,通过不同的调度算法对所有连接到此 eNB 的 UE 进行统一调度,包括两个功能模块:(1)优先级计算模块.该模块接收来自 UE 的 PRB 请求,根据 UE 发来的实时用户信息和 UE 信息存储模块存储的历史用户信息,通过适当的优先级算法计算出这个 UE 的优先级,并将该 PRB 请求根据优先级插入待调度优先级队列中适当的位置.(2)PRB 分配模块.该模块存储物理层时频资源 PRB 的分配信息,并根据优先级队列和 PRB 请求类型依次对无线资源进行半持续调度或者动态调度.用户信息存储模块保存用于计算 UE 优先级所需的各种参数和属性值,如用户的服务等级、用户的平均传输速率、用户的平均吞吐量、用户的实时信道质量等。

该模型的工作机制如下:(1)调度器接收 UE 的调度请求,其中包含有用户设备的唯一标识无线网络临时标识(Radio Network Temporary Identity,RNTI)以及用户的信道质量标识(Channel Quality Indicator,CQI)^[9].(2)优先级计算模块根据用户信息存储模块保存的信息和用户的 PRB 请求中的 CQI 信息计算用户优先级,并根据优先级由高到低将请求插入 PRB 分配模块中的等待调度队列,具体的计算公式在 2.2 节中说明.(3)PRB 分配模块根据空闲资源情况依次调度等待调度队列的队头,为其分配 PRB 资源.(4)在用户信息存储模块中,记录或更新当前被调度用户的最新服务等级、平均传输速率、实时信道质量等信息。

2.2 用户优先级计算方法

上述调度过程的核心是用户优先级的计算.计算用户优先级需要考虑两方面:(1)提高用户的吞吐量和传输效率,减少用户数据的重传和碎片及空闲资源的浪费^[10].(2)需要兼顾用户间的公平性,减少不满意用户的数量.基于这个思想,在 PrSPS 方案中提出如下的优先级计算方法:

$$P(i) = \text{Pri}(i) \lg \frac{\text{PrbN}(i) \overline{\text{CQI}}(i) + 6}{\lg R_{\text{ave}}(i)}, \quad (1)$$

式(1)包括两部分,第 1 部分是预设优先级 Pri,描述了用户的重要程度,越重要的用户优先级越高.第 2 部分为修正优先级,由几个参数共同组成,用于根据用户信道质量 CQI、平均传输速率 R_{ave} 、用户 PRB 资源需求数 PrbN 等实时调整用户的优先级,这个值和预设优先级应该具有对等的效力,共同决定用户的优先级。

2.3 算法分析

式(1)中,Pri 表示用户的预设优先权参数.对于服务提供者,可以根据重要的程度将用户划分几个等级,等级较高的用户 Pri 值为 1,普通用户 Pri 为 0.5 或者 0.25. PrbN 表示用户发送数据所需 PRB 资源的个数.PRB 需求多的优先级高,需求少的优先级低.这是因为若优先考虑 PRB 需求少的用户,则可能产生许多不可用的 PRB 资源碎片,降低物理资源的利用率. $\overline{\text{CQI}}$ 表示用户 i 的平均 CQI,这个值是 3GPP 规范中表征用户实时信道质量的值,CQI 取值为 0~15,值越大,表明实时信道质量越好.式(1)中,将信道质量好的用户给予高优先级,这样可以减少由于信道质量差导致的重传,提高了 PRB 的利用率和网络吞吐量.平均传输速率 R_{ave} 为用户数据的统计平均传输速率,式(1)中,通过该参数来保证用户之间的公平性.用户数据被分配 PRB 资源越多,其 R_{ave} 值就会越大.对于信道质量差的用户,比如距离 eNB 较远或处于 eNB 边缘的用户,如果仅考虑前面 3 个参量来计算优先级,很有可能因为优先级一直较低而始终不能被分配到 PRB 资源,无法发送数据.为了尽量保证用户间的公平性,对于一直使用 PRB 资源进行数据传输的用户,随着其 R_{ave} 的逐渐增大,式(1)就将其优先级变小.因此, R_{ave} 的加入对保证各用户之间的公平性有重要的意义。

下面是一个一般状况下优先级计算的例子.假设用户采用 3GPP 推荐的 AMR 编码速率 12.2 kbit/s,在室内进行 VoLTE 通话,那么这个用户的 Pri 等于 0.5,PRB 的需求数 PrbN 为

$$\frac{12.2 \text{ kbit/s} \times 20 \text{ ms} + 3\text{Byte} \times 8}{1008 \text{ bit}} = 1 \text{ 个 PRB} ,$$

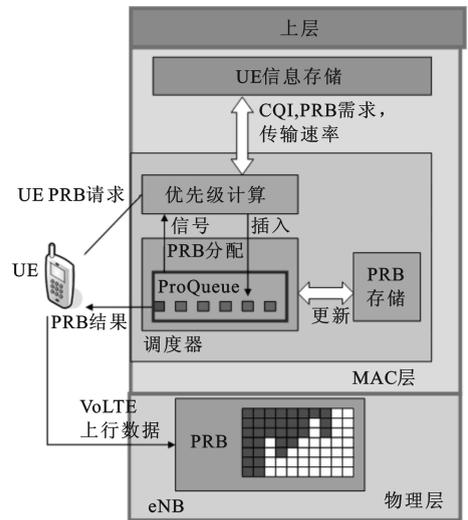


图 2 PrSPS 模型

其中,1 008 bit 为一个 PRB 可承载的数据量。

3GPP 规定 CQI 值为 10~16 时,信道良好,7~9 为一般,6 以下为较差^[9]。本例中假设用户信道质量较好,CQI 为 10。

此用户一直在通话,平均传输速率 R_{ave} 等于传输字节数除以时间,即

$$\frac{12.2 \text{ kbit/s} \times 20 \text{ ms} + 3 \text{ Byte} \times 8}{20 \text{ ms}} = 13.4 \text{ kbit/s} .$$

将上述参数值代入式(1),可以得到该用户的优先级为

$$P_{(i)} = 0.5 \lg 3.85 \approx 0.5 \times 0.58 = 0.29 .$$

可以看到,预设优先级 $Pri(i)$ 奠定了用户优先级 $P_{(i)}$ 的基本值 0.5,修正优先级 0.58 起到了根据实际状况修正这个优先级的作用,二者数量级相近,较公平地发挥了作用,证明了使用此公式计算优先级的合理性。

3 仿真和性能分析

3.1 仿真场景

仿真在 NS-3 环境中进行,基于 CTTC 组织开发的 LTE 扩展模块,实现了 SPS 和文中提出的 PrSPS 的仿真和对比分析。仿真场景是由一个 LTE 接入基站 eNB 以及若干均匀分布于基站周围 5 km 范围内的用户终端组成,如图 3 所示。选择 5 km 是因为 3GPP TR25.913^[11] 规范中规定了 LTE 在 5 km 范围内保证用户的服务性能指标。所有用户均处于通话状态,即处于讲话状态和收听状态的平均概率各为 50%。

仿真场景参数配置为:调度算法为 SPS 和 PrSPS,传播频谱模型为 FriisSpectrumPropagationLossModel,上行带宽为 5 MHz,下行带宽为 5 MHz,上行发射功率为 10 dB,下行发射功率为 30 dB,上行环境噪音为 9 dB,下行环境噪音为 5 dB。

3.2 仿真结果及分析

3.2.1 最大用户容量对比

用户容量定义为一个小区内满意用户数为 95% 时的用户总量。其中满意用户的定义为:在 60 s 的时间内调度失败的数据包个数占此用户发送数据包的比例小于 2%^[4]。数据包调度失败有两种可能:(1)因为信道质量较差,经过两次重传都未能被成功调度。(2)在调度队列中等待时间过长而导致调度超时。

两种调度算法的用户满意度对比如图 4 所示。图 4 中横轴为基站 eNB 接入的用户总数,纵轴为用户的满意度。左侧曲线是半持续调度算法的满意度,右侧曲线是基于优先级的半持续调度的满意度,水平线为用户容量。可以看出,SPS 的用户容量为 266,PrSPS 的用户容量为 276,PrSPS 的用户容量增加了 10 个左右,约提升了 4%。

3.2.2 无线资源使用率对比

通过仿真的结果可以统计出两种算法的 PRB 使用率,如图 5 所示。SPS 的使用率如左侧柱状所示为 92.08%,PrSPS 的使用率如右侧柱状所示为 97.96%,PRB 的使用率提升了 6% 左右。

3.2.3 调度失败数分布对比

从图 4 可以看到,PrSPS 的用户满意度随终端总数增加而下降的速率大大降低,这对基站超负荷运行时尽可能保证用户服务质量有重要意义。产生这一现象的原因可以从用户调度失败率得到解释。

满意度下降的原因是每增加一个用户终端就意味着它会在一段时间半持续地占用 PRB 资源,进而造成其他用户等候时间增加,每个用户调度失败的次数都可能增多。由于 60 s 的仿真中每个用户调度的数据包个

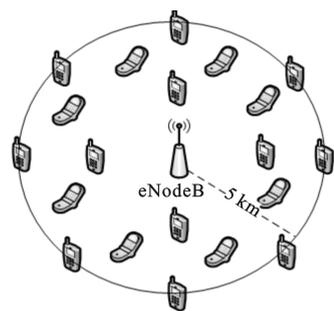


图 3 VoLTE 仿真场景示意图

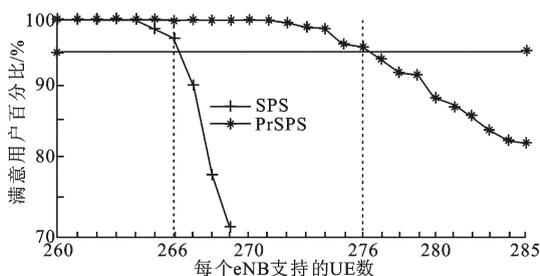


图 4 两种调度算法的用户满意度对比图

数约为 1 500,调度失败率数量级比较小,统计调度失败的次数如图 6 所示.

从图 6(a)可以看出,使用 SPS 方案时,每个用户调度失败次数分布比较集中,266 个用户中的大部分用户失败次数集中在 15~20 次,也就是所有用户的调度失败率都在 2%左右,这样一旦增加了新用户,很容易出现大量用户调度失败率同时超过 2%的情况,进而导致用户满意度迅速下降.

PrSPS 方案中,由于信道质量好的用户优先使用了资源,减少了它们的数据因为调度超时导致的调度失败,使得调度失败次数的统计出现了两级分化.如图 6(b)所示,276 个用户中的大部分用户调度失败次数集中在 10 次以下.这样的方案同样也牺牲了部分的公平性,相对于半持续调度的分布,有少量用户的调度失败次数会大于 25,这样在增加用户终端后,约 78%的用户不会因此成为不满意用户,而这类用户在 SPS 方案中的比例接近 90%.所以 PrSPS 方案大大降低了用户满意度随终端数增加而下降的速度.

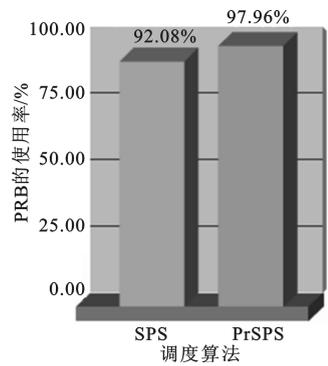


图 5 两种调度算法的 PRB 使用率对比图

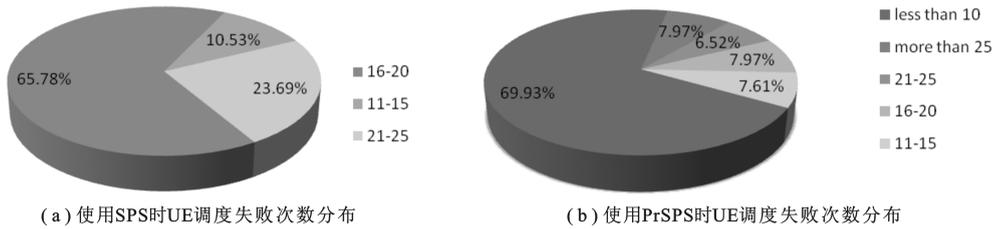


图 6 SPS/PrSPS 调度失败次数分布图

4 结论和展望

重点研究了 LTE 语音业务的无线资源调度分配的方法,提出了一种基于优先级的半持续调度改进方案 PrSPS,并在 NS-3 仿真平台上对方案进行了性能评估.通过对 SPS 方案和文中提出的 PrSPS 方案的调度失败率、用户满意度、资源使用率等性能指标的仿真和分析,证明了文中提出的 PrSPS 方案从用户容量、资源利用率、用户满意度下降速度等方面具有较大的优势,能够明显改善 VoLTE 业务的性能.

未来改进方案设计和验证中还有一些后续工作:首先,从仿真结果来看,PrSPS 方案对用户容量的提升比较有限,可以进一步改进优先级计算方法,或提出更加革命性的调度方案,使用户容量得到进一步提升.其次,由于仿真平台的 LTE 模块暂时不支持网络层及其上的功能,所以不同调度方案对网络传输延迟的影响暂时无法进行评估.

参考文献:

- [1] 3GPP, TS36.321. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) Protocol Specification [S]. Sophia Antipolis: ETSI, 2011.
- [2] 仇娟娟, 杨丰瑞. HSDPA 中 M-LWDF 实时业务分组调度算法的改进 [J]. 无线电工程, 2009, 39(4): 11-13. Zhang Juanjuan, Yang Fengrui. Modified M-LWDF Packet Scheduling Algorithms for HSDPA [J]. Radio Engineering of China, 2009, 39(4): 11-13.
- [3] Jiang Dajie, Wang Haiming. Performance Comparison of Control-less Scheduling Policies for VoIP in LTE UL [C]// Proc IEEE WCNC. Las Vegas: IEEE, 2008: 2497-2501.
- [4] 3GPP, R1-070674. LTE Physical Layer Frame Work for Performance Verification [S]. Sophia Antipolis: ETSI, 2007.
- [5] Musabe R, Larijani H. A New Scheduling Scheme for Voice Awareness in 3G LTE [C]//Proc BWCCA. Barcelona: IEEE Computer Society, 2011: 300-307.
- [6] Alia A, Khan J Y. Performance of LTE Network for VoIP Users [J]. International Journal of Internet Protocol Technology, 2012, 7(1): 3-14.

- [7] Karl A. Seraj M. Mobile VoIP User Experience in LTE [C]//Proc LCN. Bonn: IEEE Computer Society, 2011: 785-788.
- [8] Jiang Dajie, Wang Haiming, Malkamaki. Principle and Performance of Semi-persistent Scheduling for VoIP in LTE System [C]//Proc WiCom. Shanghai: 2007: 2861-2864.
- [9] 3GPP, TS 36.213-2011. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical Layer Procedures [S]. Sophia Antipolis: ETSI, 2011.
- [10] 3GPP, TS 36.211-2011. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical Channels and Modulation [S]. Sophia Antipolis: ETSI, 2011.
- [11] 3GPP, TR 25.913-2011. Requirements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access(UTRA)and Universal Terrestrial Radio Access Network(UTRAN)[S]. Sophia Antipolis: ETSI, 2011.

(编辑: 齐淑娟)

(上接第 141 页)

3.4 平均响应时间随纬度的变化

两类星座的平均响应时间的最小值、最大值和平均值随纬度的变化如图 5 和图 6 所示. 单轨道面星座在纬度 $21^{\circ}\sim 39^{\circ}$ 、 57° 区域, $66^{\circ}\sim 78^{\circ}$ 区域的平均响应时间优于其他区域. 在北纬 78° 区域平均响应时间的最小值为 7 500.6 s, 是整个纬度圈上(除两极之外)的最小平均响应时间. 三轨道面星座以北纬 30° (平均响应最大值所在的纬度圈)为分界点, 平均响应时间的最小值也出现在北纬 78° 区域.

4 结束语

以近圆回归轨道的设计依赖于轨道高度和轨道倾角两个参数的确定为基础, 利用复形调优法, 笔者对基于重访周期的对地侦察小卫星星座进行了优化设计研究. 分析对比性能仿真结果可知, 若将北半球划分为 3 个纬度带, 分别为 I 区: $[3^{\circ}\sim 30^{\circ}]$, II 区: $[30^{\circ}\sim 60^{\circ}]$, III 区: $[60^{\circ}\sim 78^{\circ}]$. 在 I 区域, 单轨道面星座的覆盖性能要优于三轨道面星座, 在 II 区域三轨道面星座的性能要优于单轨道面星座; III 区域属于高纬度地区, 两个星座的覆盖性能相差不大. 进一步分析可知, 单轨道面星座覆盖性能随纬度变化剧烈, 而三轨道面星座性能指标平滑, 星座构型相对稳定.

参考文献:

- [1] Lang T J, Williams E A, Crossley W A. Average And Maximum Revisit Time Trade Studies For Satellite Constellation Using A Multiobjective Genetic Algrithm [J]. Journal of Astronautical Sciences, 2001, 49(3): 385-400.
- [2] 王瑞, 马兴瑞, 李明. 采用遗传算法进行区域覆盖卫星星座优化设计 [J]. 宇航学报, 2002, 23(3): 24-28.
Wang Rui, Ma Xingrui, Li Ming. Optimization of Regional Coverage Satellite Constellations by Genetic Algorithm [J]. Journal of Astronquitics, 2002, 23(3): 24-28.
- [3] 魏蛟龙, 岑朝辉. 基于蚁群算法的区域覆盖卫星星座优化设计 [J]. 通信学报, 2006, 27(8): 62-66.
Wei Jiaolong, Cen Zhaohui. Optimization of Regional Coverage Constellation Based on Ant Colony Algorithm [J]. Journal of Communication, 2006, 27(8): 62-66.
- [4] 桑文刚, 宋爱国, 陈永奇, 等. 基于改进蚁群算法的区域伪卫星增强 GPS 星座优化设计 [J]. 东南大学学报, 2010, 40(6): 1212-1216.
Sang Wengang, Song Aiguo, Chen Yongqi, et al. Optimal Design of Regional Pseudolite-augmented GPS Constellation Based on Improved Ant Colony Algorithm [J]. Journal of Southeast University, 2010, 40(6): 1212-1216.
- [5] 徐玮. 一种基于复形调优遗传算法的多学科优化方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(4): 869-872.
Xu Wei. Multidisciplinary Optimization Method Based on Complex Optimization Genetic Algorithm [J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(4): 869-872.
- [6] Hanson J M, Evans M J, Turner R E. Designing Good Partial Coverage Satellite Constellations [J]. Journal of the Astronautical Sciences, 1992, 40(2): 215-239.
- [7] Chylla M A, Eagle C D. Efficient Computation of Satellite Visibility Period [C]//Proc of The 2nd AAS/AIAA Meeting. Colorado Springs: Spaceflight Mechanics, 1992: 823-834.

(编辑: 高西全)