

LEO 卫星通信中基于服务质量的综合加权接入策略

黄飞 许辉 周恒 吴诗其

(电子科技大学通信抗干扰技术国防重点实验室 成都 610054)

摘要: 该文首先建立了 LEO 卫星全球业务密度, 提出 4 种卫星接入和卫星间切换策略, 并对 LEO 卫星通信的新呼叫阻塞概率和强制中断概率在这 4 种策略下的性能进行了仿真分析, 然后在简单综合加权策略的基础上, 根据全球各个地区不同的地形、地表以及通信业务的特点, 提出了基于服务质量的综合加权策略。仿真结果表明根据实际地理情况采用改进的综合加权策略, 新呼叫阻塞率和切换失败率得到了较大的改善。

关键词: LEO 卫星通信; 服务质量(QoS); 接入策略

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)10-2411-04

QoS Based Average Weighted Scheme for LEO Satellite Communications

Huang Fei Xu Hui Zhou Heng Wu Shi-qi

(School of Communication and Information Engineering UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract: A LEO global traffic model is first built, then four access and handoff strategies for LEO satellite communication are proposed, and these strategies' performance, including call blocking probability and call termination probability, is evaluated through computer simulation. Based on the simple average weighted scheme, a QoS based average weighted scheme is proposed according to the characteristics of the topography and traffic density all over the world. The simulation results show that the proposed scheme can reduce Call Blocking Probability (CBP) and Call Dropping Probability (CDP) considerably.

Key words: LEO satellite communications; Quality of Service (QoS); Access strategy

1 引言

移动卫星通信系统的出现为实现全球无缝通信提供了最为便利的解决方案, 同时其低时延特性使得提供实时和交互式服务成为了可能^[1, 2]。为支持这些对实时性要求较高的多媒体业务, LEO 卫星通信系统必须提供这些用户一定的服务质量(QoS)保证, 其中包括带宽、时延、时延抖动、新呼叫阻塞率和强制中断率等。

LEO 卫星轨道高度较低, 要实现全球无缝覆盖, 需要的卫星数量远多于同步轨道(GEO)卫星系统和 中轨(MEO)卫星系统, 所以多星覆盖率较高。如果原始呼叫产生时同时被多颗卫星所覆盖, 按照何种方案接入卫星是接入策略要解决的问题之一。在 LEO 卫星通信系统中, 卫星相对地面的运动速度很快, 单颗卫星只能为用户提供几分钟的服务时间, 因此会进行卫星间切换, 特别是当实时业务需要切换时, 系统因为不能提供其传输所需的最小带宽而使通信中断, 这对实时业务是不可容忍的, 因此保证切换质量, 特别是降低实时业务的切换失败概率和提高系统利用率, 将成为 LEO 网络需要解决的问题, 目前已提出多种策略用来处理 LEO 卫星通信中的服务质量(QoS)问题^[3, 4]。

低轨卫星移动通信系统中存在着两种切换: 卫星间切换和波束间切换。由于波束间切换比卫星间切换发生得更为频繁, 因此大量文献已经提出多种策略用来处理 LEO 卫星波束间切换, 如切换请求排队策略^[5]、动态信道分配策略^[6, 7]和信道借用切换策略^[8], 而专门针对卫星间切换讨论不多, 文献[9]提出了 3 种接入方案来降低切换请求到达率, 提高系统性能, 文献[10]对卫星间切换进行了深入的研究, 但由于它以矩形来近似每颗卫星的覆盖区域, 因此对多星覆盖的情况不够准确, 而且假设全球业务量均匀分布, 这与实际不符。本文在文献[9,10]的基础上, 根据 LEO 卫星通信的特点, 同时以圆形来近似每颗卫星的覆盖区域, 提出了 4 种卫星接入和卫星间切换策略: 最短距离方案、最长服务时间方案、负载均衡方案和综合加权方案, 并在综合加权方案的基础上提出了基于服务质量的综合加权接入策略。

2 LEO 卫星全球业务密度

LEO 卫星通信系统全球业务量分布极不均匀, 为了更好地仿真实际环境, 本文对全球用户分布作了进一步细化^[11], 假设此区域内卫星用户密度分布与人口密度分布成正比, 由此可将全球卫星用户按 11 个统计区域划分, 各区域用户数量分布如表 1(海洋、极地用户比例太小, 未列出)。

为了便于仿真, 可把全球按经、纬度 10° 步长划分成

表1 全球业务量分布(%)

区域	业务比例	区域	业务比例	区域	业务比例
亚洲	34.5	南美洲	10.8	前苏联 亚洲部分	3.6
欧洲	13.8	前苏联欧 洲部分	10.7	东南亚 群岛	3.2
非洲	13.3	北美洲	8.0	大洋洲	2.1

36×18 的网格空间, A 为网格面积, ρ 为网格业务密度:

$$A \approx (R\pi/18)^2 \cos \alpha \quad (1)$$

$$\rho = N_{\text{user}} / A \quad (2)$$

其中 R 为地球半径, α 为此网格中心纬度, N_{user} 为网格内卫星用户数量。

3 接入和切换策略

3.1 4种基本接入和切换方案

(1)最短距离方案: 根据接收信号的平均强弱, 首先查看距离最近(信号最强)的卫星上是否有多余空闲信道, 有信道则建立连接, 无空闲信道则寻找余下覆盖卫星中距离较近者, 其目的是为用户提供较好的链路质量, 该方案实现简单, 但未能利用 LEO 卫星系统星座运行规律的先验知识, 不能有效地降低切换请求到达率。

(2)最长服务时间方案: 用户从当前可见的卫星中选择服务时间最长的一颗卫星优先接入, 当此卫星无多余空闲信道时, 再在余下覆盖卫星中寻找覆盖时间较长者优先接入, 该方案能最大限度降低切换次数, 因此不仅可以减小由切换引起的系统开销, 而且获得很低的切换失败概率。

(3)负载均衡方案: 用户选取当前可见卫星中具有最多空闲信道的卫星接入, 负载均衡方案可以使整个 LEO 卫星通信网具有均匀的业务分布, 因此每个卫星无论在什么位置都有相同的阻塞率和中断率, 从而可以避免部分卫星过载。

(4)综合加权方案: 由于信号衰减损耗、遮蔽效应与仰角存在非线性关系, 当仰角趋近最小仰角时, 卫星信道严重恶化。在最长服务时间方案中, 由于要优先接入服务时间最长的卫星, 则接入时相对于最短距离方案, 卫星仰角趋于低仰角的概率增大。因此需要设计一种综合的加权方案, 既保留最长服务时间方案的优点, 又避免较低仰角带来的信道恶化, 同时还要尽量使空间的通信业务量趋于均衡, 避免呼叫繁忙的部分卫星过载。这可通过对服务时间、仰角和空闲信道数这三个变量分别加权来实现。覆盖时间和空闲信道采用线性加权, 卫星仰角采用非线性加权。

在实际的卫星选择算法中, 我们根据这3种方案涉及的参数来计算卫星的优先级。现设定其目标函数计算公式如下:

$$P = \alpha \times \frac{T_{\text{over}}}{T_{\text{max}}} - \beta \times \frac{\theta_{\text{min}}}{\theta} + \gamma \times \frac{C_{\text{free}}}{C_{\text{all}}}, T_{\text{over}} \leq T_{\text{max}}, \theta_{\text{min}} \leq \theta, C_{\text{free}} \leq C_{\text{all}} \quad (3)$$

其中 α 为覆盖时间加权系数; β 为卫星仰角加权系数; γ 为空闲信道加权系数; T_{over} 为覆盖时间; T_{max} 为系统最大单星覆盖时间; θ 为卫星仰角; θ_{min} 为系统最小仰角; C_{free} 为空闲信道数; C_{all} 为单颗卫星信道总数。

通过对 α, β, γ 的不同取值, 可以使系统随时根据对覆盖时间、卫星仰角和空闲信道数的不同敏感程度和不同的 QoS 准则决定系统方案。

根据上面提到的4种方案来选择下一个卫星。由于这些方案既可以用于新呼叫也可以用于切换呼叫, 我们可以得到10种组合服务方案, 具体组合方案见表2。

表2 10种组合服务方案

服务方案	新呼叫接入	切换呼叫	服务方案	新呼叫接入	切换呼叫
TT	最长服务时间方案	最长服务时间方案	DT	最短距离方案	最长服务时间方案
TC	最长服务时间方案	负载均衡方案	CC	负载均衡方案	负载均衡方案
TD	最长服务时间方案	最短距离方案	CT	负载均衡方案	最长服务时间方案
DD	最短距离方案	最短距离方案	CD	负载均衡方案	最短距离方案
DC	最短距离方案	负载均衡方案	TDC	综合加权方案	综合加权方案

3.2 基于服务质量的综合加权策略

前面讨论的加权系数为 1:1:1 的简单综合加权方案意义并不大, 综合加权策略必须要结合卫星轨道高度, 地域的地形特点, 地表特点, 业务特点等具体情况来考察。例如, 在平原, 或者比较荒芜的沙漠地区, 地面物体很少, 对信号的遮蔽比起高楼林立的城市来说是十分微弱的, 而且在这些地区人口密度比较低, 业务量相对比较小, 根据上述的特点, 在这类地区采用加权系数为 1:1:1 的综合加权方案效果可能并不好, 又如在商业大都市, 高楼林立, 对信号的遮蔽十分严重, 对仰角的要求很高, 业务密度也很大, 呼叫的移动性也很高, 对信道数量的要求很高, 在这种地区, 情况就变得十分复杂, 需要对当地的地域的地形特点, 业务特点等信息有详细的了解, 从而找到最合适的加权值。

基于上面的讨论, 我们需要建立全球通信模型。要求对全球各个地区不同的地形、地表以及通信业务特点有全面的掌握, 目前尚未找到这方面详细的资料。这里我们建立一个各个地区具有不同的最小仰角的简单模型来说明这种策略对卫星通信系统的影响。在生成呼叫序列时, 我们建立了全球业务模型, 全球业务模型将全球区域划分为以大洲为单位的不同区域, 我们可以依据这个模型来建立新的简单模型。全球的各个地区对卫星通信系统的最小仰角的要求是不一样的, 如果设置单一的值, 这个值在有些地方可能偏小, 会影响通信质量, 在有些地方可能偏大, 增加系统切换负担。

为了解决这个问题, 我们根据各地区的差异来设置不同的最小仰角。根据常识, 在澳洲, 非洲, 以及中东地区, 存在大片的沙漠地带, 因此地面对信号的遮蔽不明显, 对仰角的敏感度不高, 把这些区域的最小仰角设置为 10° , 而在亚洲, 美洲和欧洲地区, 人口密度高, 地表特点复杂, 地面物体, 楼宇对信号的遮蔽明显, 对仰角的敏感度高, 最小仰角设置为 $20\text{--}30^\circ$, 在极地地区, 地表对信号的遮蔽几乎没有, 最小仰角设置为 10° 。因此, 本文在仿真时根据呼叫发起地的经纬度来设置不同的最小仰角, 而不是把最小仰角设置成一个固定的值。

4 系统仿真分析

参照典型的低轨卫星系统—Globalstar 系统参数进行系统仿真分析, 并比较表 2 中各种接入和切换策略的性能, 具体的仿真参数设置如下:

轨道高度 $H=1389\text{km}$, 8 个圆轨道, 每个轨道平面 6 颗星, 倾角 52° , 相邻轨道卫星相位差 7.5° , 最小仰角 10° ; 每颗卫星 240 个信道(Globalstar 系统实际为每颗卫星 2400 个信道, 此处假设为仿真简便起见)。新呼叫到达服从独立的泊松分布, 同时通信持续时间均服从均值 $T_m=180\text{ s}$ 的负指数分布, 对此系统在不同接入和切换方案下服务全球非均匀分布用户呼叫进行仿真, 仿真过程记录了系统在进入稳定状态后所有呼叫的服务情况, 总的仿真时间为 200min 。定义新呼叫阻塞概率 P_b , 切换失败概率 P_{fh} 和切换失败造成的强制中断概率 P_{th} 如下:

$$P_b = (\text{被阻塞的新呼叫数}) / (\text{总新呼叫数}) \quad (4)$$

$$P_{fh} = (\text{被阻塞的切换呼叫数}) / (\text{总切换呼叫数}) \quad (5)$$

$$P_{th} = (\text{强制中断呼叫数}) / (\text{接入的总呼叫数}) \quad (6)$$

4.1 4 种接入和切换方案的性能仿真

首先分别对表 2 中 3 种新呼叫接入方案和 3 种切换方案共 9 种组合进行仿真, 并与简单综合加权方案($\alpha=1, \beta=1, r=1$)进行比较, 全球总的业务量从每秒 5 个呼叫到每秒 45 个呼叫, 从仿真结果可以看出各方案的新呼叫阻塞率分布很有规律, 只要新呼叫接入方案相同, 切换方案对新呼叫阻塞率的影响很小, 主要是新呼叫接入方案起主要作用, 这主要是因为呼叫的平均持续时间为 180s , 因此很多呼叫都是一次接入便可完成通信, 需要切换很少。图 1 为从 9 种组合方案中选出新呼叫阻塞率较低的 3 种方案与简单综合加权方案($\alpha=1, \beta=1, r=1$)的性能对比曲线, 从图 1 可以清楚地看到负载均衡接入方案(CC)的新呼叫阻塞率最好, 新呼叫阻塞率最低, 原因是负载均衡方案能够均衡卫星负载, 避免部分卫星过载, 因此能够降低新呼叫阻塞率。图 2 为从 9 种组合方案中选出强制中断率较低的 3 种方案与简单综合加权方案($\alpha=1, \beta=1, r=1$)的性能对比曲线, 从图 2 同样可以清楚地看到负载均衡方案(CC)在 $\lambda < 35$ 时强制中断率最佳, 但之后性能快速下降, 原因是当业务量较轻时, 均衡方案能够很

好地均衡卫星负载, 避免部分卫星过载, 因此能够降低强制中断率, 但当业务量不断增大, 负载均衡方案的切换到达成率比较高, 也就是说系统的切换开销大, 性能开始下降。

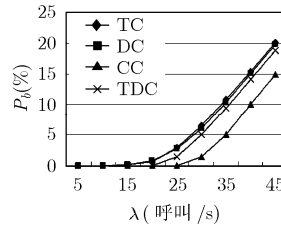


图 1 新呼叫阻塞率

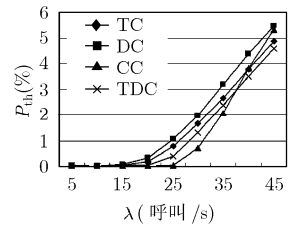


图 2 强制中断率

同时从图 1 可以看到简单综合加权方案的新呼叫阻塞率介于负载均衡接入方案(CC)与其它两种接入方案, 从图 2 可以看出简单综合加权方案的强制中断率在业务量较轻时介于负载均衡接入方案与其它两种接入方案, 当业务量较重时, 简单综合加权方案的强制中断率为最佳, 这是由于综合加权方案对 3 种接入方案进行了权衡, 同时考虑到信道质量因素和频繁切换所带来的繁重的系统开销, 采用综合加权方案可以在最长服务时间方案的基础上通过损失部分切换请求到达率来改善效果, 以换取信道质量的保证, 并且保证一定的卫星负载均衡避免部分卫星过载; 但简单综合加权方案($\alpha=1, \beta=1, r=1$)没有考虑全球各个地区不同的地形、地表以及通信业务的特点, 下面将仿真基于服务质量的综合加权策略。

4.2 基于服务质量的综合加权性能仿真

为了仿真不同的最小仰角在简单综合加权方案下对系统性能的影响, 表 3 为设置了不同最小仰角后, 系统的各项性能指标, 全球业务量为每秒 10 个呼叫, 接入和切换方案都是简单综合加权方案($\alpha=1, \beta=1, r=1$), 每个卫星信道数为 240。

表 3 不同最小仰角下系统性能

性能指标	根据模型设置不同的最小仰角	最小仰角固定	最小仰角固定
		最小仰角=20	最小仰角=10
新呼叫阻塞率(%)	1.9991	3.5549	0.02244
强制中断率(%)	2.4225	4.4872	0.02244
切换失败率(%)	32.0359	35.0000	1.0753
平均仰角(rad)	0.7152	0.7419	0.6951

最小仰角在不同的地区为不同的值, 仿真时根据呼叫发起地的经纬度来设置不同的最小仰角, 而不是把最小仰角设置成一个固定的值, 为了说明在不同地区的通信系统对仰角

的敏感程度也不相同,我们在不同的区域中设置不同的卫星仰角加权系数 β ,在最小仰角为 20° 的区域, β 设置为0.5,在最小仰角为 10° 的区域, β 设置为1,在最小仰角为 5° 的区域, β 设置为2,接下来对这种改进的综合加权策略与简单综合加权策略(β 值恒定为1)进行了性能对比。全球业务量选取6个参考点10呼叫/s,15呼叫/s,20呼叫/s,25呼叫/s,30呼叫/s和35呼叫/s,每个卫星信道数为240,图3和图4分别为两种综合加权策略在新呼叫阻塞率和切换失败率的性能比较。

由图3和图4所示,采用改进的综合加权策略,新呼叫阻塞率和切换失败率得到了很大的改善。这是因为我们根据实际地理情况,在最小仰角比较大的地区,增加了仰角的敏感度,从而增大了仰角对优先级的影响,提高了系统性能。

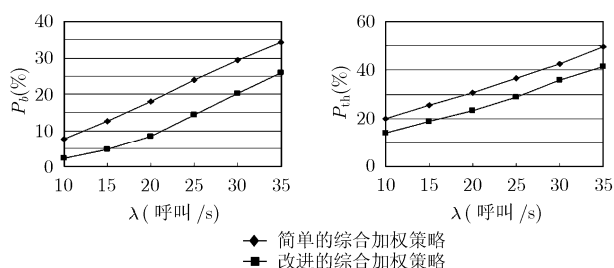


图3 新呼叫阻塞率

图4 切换失败率

5 结束语

本文使用了不同的新呼叫接入和切换方案对LEO卫星移动通信的新呼叫阻塞概率和强制中断率方面进行了仿真分析,从仿真结果中可看出,以负载均衡方案为新呼叫接入和切换方案,可以均衡卫星负载,在低负载时对系统性能改善很明显,同时可以选择基于服务质量的综合加权策略,并调整不同的权值来综合通信性能,以满足不同系统的不同需求。

参考文献

- [1] Enrico D R, Fantacci R, and Giambene G. Characterization of user mobility in low earth orbiting mobile satellite systems[J]. *Wireless Networks*, 2000, 6(3): 165-179.
- [2] Akyldiz I F and Jeong S H. Satellite ATM networks: a survey[J]. *IEEE Communications*, 1997, 35(7): 30-43.
- [3] Maral G, Restrepo J, and Enrico D R. Performance analysis for a guaranteed handover service in an LEO constellation with a 'satellite-fixed cell' system[J]. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1998, 47(4): 1200-1214.
- [4] Mertzanis I, Tafazolli R, and Evans B G. Connection admission control strategy and routing considerations in multimedia (Non-GEO) satellite networks[C]. Proc. 47th IEEE Vehicular Technology Conference, Phoenix, Arizona, USA, 1997: 431-436.
- [5] Enrico D R, Romano F, and Giovanni G. Queuing handover requests in low earth orbit mobile satellite systems[C]. IEEE Global Telecommunications Conference, London, UK, 1996: 1684-1688.
- [6] Enrico D R, Fantacci R, and Giambene G. Efficient dynamic channel allocation techniques with handover queuing for mobile satellite networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1995, 13(2): 397-405.
- [7] Cho S. Adaptive dynamic channel allocation scheme for spotbeam handover in LEO satellite networks[C]. IEEE VTS-Fall Vehicular Technology Conference 2000, Boston, USA, 2000: 1925-1929.
- [8] 黄飞, 许辉, 吴诗其. 低轨卫星通信中基于公平性的信道借用策略[J]. *通信学报*, 2006, 27(8): 10-17.
Huang Fei, Xu Hui, and Wu Shi-qi. Fairness based channel borrowing strategy for multimedia LEO satellite communications[J]. *Journal on Communications*, 2006, 27(8): 10-17.
- [9] 凌翔, 胡剑浩, 吴诗其. 低轨卫星移动通信系统接入方案[J]. *电子学报*, 2000, 28(7): 55-58.
Ling Xiang, Hu Jian-hao, and Wu Shi-qi. Access schemes for LEO satellite mobile communication systems[J]. *Acta Electronics Sinica*, 2000, 28(7): 55-58.
- [10] Papapetrou E, Karapantazis S, Dimitriadis G, and Pavlidou F. Satellite handover techniques for LEO networks[J]. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2004, 22(2): 231-245.
- [11] Population Division of the United Nations Secretariat. Sex and Age Annual 1950-2050. Demographic Yearbook 1997: 781-803.

黄飞: 男, 1973年生, 博士生, 研究方向为卫星通信和移动通信技术。
许辉: 男, 1972年生, 博士生, 研究方向为宽带卫星IP通信网络。
周恒: 男, 1981年生, 本科生, 研究方向为卫星通信和移动通信技术。
吴诗其: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为卫星通信与无线ATM。