

多优先级的卫星网络信道分配算法

别玉霞 卜瑞杰 刘海燕

(大连大学信息工程学院 大连 116622)

摘 要 为了解决终端接入卫星网络的信道分配问题,充分利用卫星网络有限的信道资源,在分析终端级别和业务级别多样性的基础上,加入优先级标识,建立多终端和多业务优先级模型,分析接入满意度与接入阻塞率、链路带宽和链路总时延的关系,建立接入满意度模型,提出信道竞争机制和带宽压缩机制,进而提出基于多终端和多业务优先级的信道分配算法。仿真结果表明,相比传统算法,该算法可以根据不同终端和不同业务级别分配卫星网络的信道资源,提高接入满意度,进而提高信道利用率。

关键词 业务级别,终端级别,竞争机制,带宽压缩,信道分配

中图分类号 TP802+.8 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.03.029

Channel Allocation Algorithm of Multi-priority Satellite Network

BIE Yu-xia BU Rui-jie LIU Hai-yan

(Information and Engineering College of Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract In order to solve the problem of channel allocation in terminal access satellite network and make full use of the limited satellite network channel resources, on the analysis in the diversity of terminal level and operational level, this paper added the priorities identified, and established the multi-terminal and multi-service priority model. We analysed the relationship among access-satisfaction and the access constrictivity, the link bandwidth and link overall delay, and established access-satisfaction model. The mechanism of channel contention and bandwidth compression was proposed, and then an algorithm of multi-terminal and multi-service priority channel allocation was proposed. The measured results show that, compared with traditional algorithms, the algorithm can allocate the channel resources in different terminals and service levels, thus improving access satisfaction and channel utilization.

Keywords Service level, Terminal level, Competition mechanism, Bandwidth compression, Channel allocation

1 引言

卫星通信网络是由多颗通信卫星、地面基站和卫星终端组成的通信网络。在极端环境或地面通信设施被摧毁时,终端可以通过接入卫星网络来完成通信任务。信道分配是卫星网络资源管理中的重要功能,由于卫星网络的资源有限,在接入时需要根据终端级别和业务级别的不同进行合理分配,以充分利用有限的卫星网络资源。

目前,终端接入卫星网络的信道分配技术已有相关的研究成果。在地面网络接入方面,文献[1]分析了 IEEE 802.16 和 IEEE 802.11 的竞争机制的区别;文献[2]中的 IEEE 802.16 标准推荐采用基于截断二进制指数回退算法的竞争机制。虽然二进制回退策略对信道资源分配具有指导意义,但以上文献中都没有研究信道的具体分配问题。文献[3]提出了一种集中式自适应信道分配算法,其减小了邻近间的干扰,但并没有研究基于终端和业务类型的信道分配。在卫星网络接入方面,文献[5]提出了一种新型混合按需分配多址接入方案,文献[6]提出了一种基于贪婪算法的卫星接入资源调度方

法,但在卫星网络接入中他们都没有研究卫星信道分配问题。文献[7]提出了载波信道选择和信道内的时隙分配,但没有考虑用户终端优先级问题。

因此,本文通过分析终端和业务级别,建立优先级模型和接入满意度模型,提出一种基于多终端和多业务优先级的信道分配算法。

2 卫星网络终端优先级模型

2.1 优先级标识

在军事及应急通信中,卫星网络终端及业务是多种多样的。根据信息重要程度的不同,本文将信息划分为紧急通信与非紧急通信。根据终端级别的不同,本文将终端划分为4种类型:甲级终端,优先级最高;乙级终端,优先级次之;丙级终端,优先级最低;丁级终端预留。根据业务级别的不同,本文将数据划分为重要数据、常规数据和状态数据,优先级依次递减,其中部分状态数据必要时可丢弃;又根据数据类型将其划分为通话类、数据类 and 多媒体类,优先级依次递减。

为体现终端和业务级别,需要在接入请求(Request To

到稿日期:2016-01-09 返修日期:2016-04-18 本文受国家自然科学基金项目(61540023)资助。

别玉霞(1981—),女,博士,CCF 会员,主要研究方向为导航制导与控制、卫星通信;卜瑞杰(1989—),男,硕士,主要研究方向为卫星通信网络;刘海燕(1963—),女,博士,教授,主要研究方向为卫星通信网络、信号处理等,E-mail: ruijiezh@163.com。

Send,RTS)帧中携带优先级标识。优先级标识包括 3 个字段:加权标识(Add Priority Tag,APT)、终端优先标识(Terminal Priority Tag,TPT)和业务优先标识(Services Priority Tag,SPT),如图 1 所示。

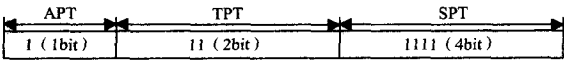


图 1 优先级标识字段图

优先级标识各字段的取值及意义如表 1 所列。

表 1 优先级标识的取值及意义

标识符	用途	取值		意义
		二进制	十进制	
APT	加权标识	0	0	无需加权操作
		1	1	执行加权操作
TPT	终端优先标识	11	3	甲级终端
		10	2	乙级终端
		01	1	丙级终端
		00	0	预留
SPT	业务优先标识	1111	15	重要通话类
		1110	14	重要数据类
		1011	11	常规通话类
		1010	10	常规数据类
		0101	5	多媒体类
		00xx	—	预留
		xx00	—	预留

注:表中“xx”表示任意取值。

2.2 优先级模型

本文用 P_{id} 表示优先级,基于优先级标识计算数据优先级,如式(1)所示。

$$P_{id}=128-APT\times 64-TPT\times 16-SPT$$
 (1)

接入点收到一个 RTS 帧后,首先读取优先级标识,计算优先级 P_{id} ,然后将其存入接收缓冲区并按优先级排队,优先处理高优先级 RTS 帧。

将表 1 的优先级标识取值代入式(1),可得优先级 P_{id} 的取值,如表 2 所列。

表 2 优先级 P_{id} 的取值

终端级别	业务级别		TPT	SPT	APT	P_{id}
紧急通信	甲级	重要数据 通话类	3	15	1	1
		数据类		14		2
	乙级	重要数据 通话类	2	15		17
		数据类		14		18
	丙级	重要数据 通话类	1	15		33
		数据类		14		34
非紧急通信	甲级	重要数据 通话类	3	15	0	65
		数据类		14		66
		重要数据 通话类		11		69
		数据类		10		70
	乙级	状态数据 多媒体	2	5		75
		重要数据 通话类		15		81
		数据类		14		82
		常规数据 通话类		11		85
	丙级	数据类	1	10		86
		状态数据 多媒体		5		91
		重要数据 通话类		15		97
		数据类		14		98
		常规数据 通话类		11		101
		数据类		10		102
		状态数据 多媒体		5		103

3 基于多终端和多业务优先级的信道分配算法

3.1 算法设计

3.1.1 信道划分及分配

为了充分利用卫星网络中可用的信道数或带宽,本文提出基于多终端和多业务优先级的信道分配(Multiple Terminal and Service Channel Allocation,M_TSCA)算法。信道划分示意图如图 2 所示。

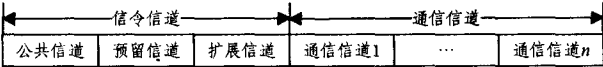


图 2 信道划分示意图

信令信道用来传输各种信令信息,如节点信令帧的 RTS、应答信号等。卫星节点可以对信令信道内的可用信令进行自动辨别并做出响应,各通信终端能在相应的信令信道上发送信令信息。信令信道主要包括公共信道、预留信道和扩展信道。公共信道为低优先级($P_{id}>97$)节点提供接入服务,采用优先级排队原则接入网络;预留信道为高优先级($P_{id}\leq 97$)节点接入时预留;扩展信道为后期系统开发预留,可传输其他用途的信令信息。信令信道一般占用较少的比特,各信令子信道都只占用 144bit,信令帧格式如图 3 所示。

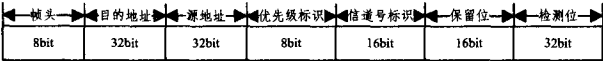


图 3 信令帧格式

以 2M 信道为例来说明其信令信道占用总带宽的比例, $2M=32\times 64k$,即传输 32 个时隙。而 0 号时隙一般用来同步,在不压缩信令的情况下,每个载波需要 3 个时隙(2 个通信时隙和 1 个信令时隙),所以最多能开通 10 个载波,信令信道与通信信道比例为 1:2,则信令信道占用总信道的比例为 10:32;在压缩信令的情况下,需要另外一个时隙用于信令,其余 30 个时隙用于通信,每个载波需要 2 个通信时隙,所以最多能开通 15 个载波,信令信道与通信信道的比例为 1:30,则信令信道占总的信道的比例为 1:32。本文采用信令压缩的方式进行通信。

通信信道即传输数据信道,根据返回的应答信号中所包含的通信信道分配信息,建立相应的通信信道,发送数据帧。在发送数据帧中附带带宽需求,系统可以及时了解业务需要的带宽,从而提高系统的信道利用率和接入满意度。

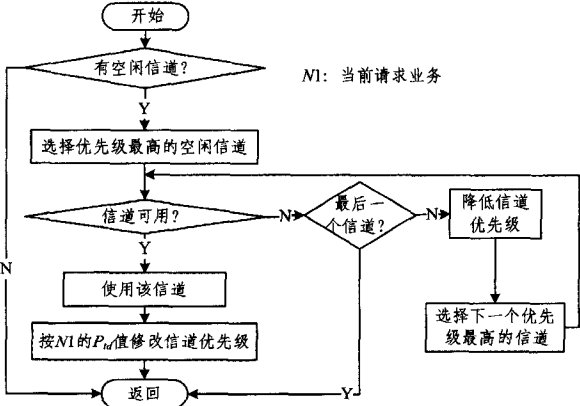


图 4 信道分配模块流程图

系统根据信道的使用情况,自动形成一个信道优先级表,其优先级函数可以任意定义,只要能表达信道的优先级大小即可。本文用信道号来表示通信信道优先级。系统维护请求到达的用户优先级集合 A 和空闲信道的优先级集合 C , A 中的优先级最高的业务使用 C 中优先级最高的信道,即 A 与 C 的映射关系为 $f: \min(A) \rightarrow \min(C)$, 则图 2 所示的通信信道分配的具体规则如图 4 所示。

以甲、乙、丙 3 种不同类型终端用户同时到达为例,不妨设集合 $A=\{65,81,97\}$, 集合 $C=\{10,11,12,\dots,n\}$ 。首先为优先级最高的用户甲按照图 4 中的流程分配信道中最高优先级的空闲通信信道 10, 然后按照用户甲的 P_d 值修改该信道的优先级, 并从集合 C 中删除通信信道 10。同理, 依次为用户乙分配信道 11, 为用户丙分配信道 12。

3.1.2 竞争机制

卫星网络系统中的竞争会发生在接入时和接入后。接入时竞争信道的接入权。终端发送 RTS 帧时, 系统需要确定该终端的竞争能力。竞争能力的大小依赖于优先级的高低, 体现为 RTS 帧的发送次数。非紧急通信下, 丙级终端发送 1 次 RTS 帧, 乙级终端发送 2 次 RTS 帧, 甲级终端发送 3 次 RTS 帧。紧急通信下, 终端发送 RTS 帧的次数逐级加 1。接入时, 竞争的 RTS 帧碰撞过程如图 5 所示。

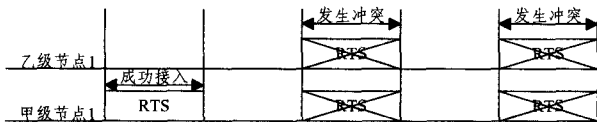


图 5 RTS 帧碰撞

如图 5 所示, 高优先级终端与低优先级终端的 RTS 帧碰撞时, 高优先级终端总能成功接入; 低优先级终端等待规定时间后, 若仍未接收到应答信号, 将启动退避机制 (IEEE 802.16^[2] 推荐的截断二进制指数回退算法)。同理, 相同优先级的终端 RTS 碰撞后, 也启动退避机制, 根据数据的优先级可计算出相应的退避时间。

接入后竞争空闲信道的使用权。当系统中无空闲信道时, 启动定时器, 同时启动竞争机制。竞争模块流程图如图 6 所示。

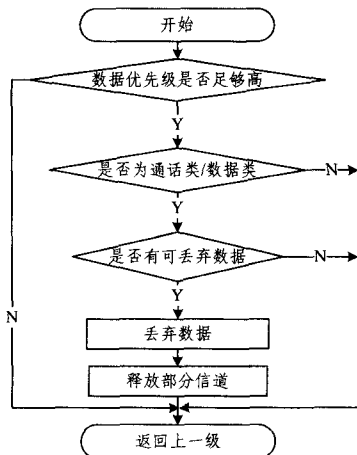


图 6 竞争模块流程图

如图 6 所示, 信道忙时, 竞争模块搜索所有正在服务的业

务, 查询是否存在可丢弃的数据, 为高优先级数据让出信道, 以保证高优先级业务能优先通信。

通过竞争机制对竞争力进行调整, 使高优先级 RTS 的终端竞争力大, 进而增大终端获得信道接入权和使用权的概率。此外, 的不同 RTS 竞争力可以分散竞争压力, 降低信道阻塞率, 改善网络性能。

3.1.3 带宽压缩机制

由于系统的容量有限, 当接入请求到达率较高、信道拥挤时, 系统将启动带宽压缩机制。带宽压缩模块流程如图 7 所示。

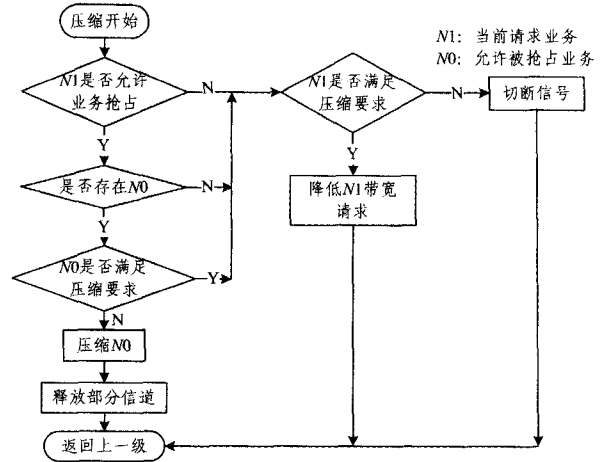


图 7 压缩模块流程图

如图 7 所示, 首先判断当前业务是否有权限执行压缩操作, 然后判断是否存在被压缩的业务, 最后按优先级执行压缩操作, 即先压缩非紧急通信丙级终端状态数据的多媒体类带宽, 若系统剩余带宽满足要求, 完成压缩操作; 若不满足要求, 依次压缩非紧急通信丙级终端状态数据的数据类带宽, 直至压缩完高于当前业务 P_d 的所有非紧急通信终端业务, 若仍然不能满足要求, 发送切断请求信号。

3.1.4 信道分配流程

信道分配流程图如图 8 所示。

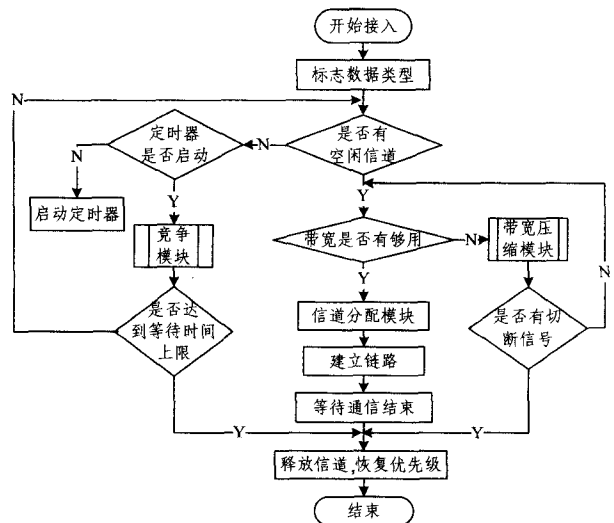


图 8 信道分配流程图

如图 8 所示, 在允许接入的前提下, 判断接入业务类型后, 进行信道分配。系统判断是否有空闲信道, 若不存在, 启

动定时器,同时启动竞争机制模块,直至满足信道要求或释放信道。若存在空闲信道,系统判断带宽是否满足要求,若不满足,启动带宽压缩模块,依次压缩各级带宽直至满足带宽要求或释放信道;满足带宽要求后,系统尽可能为当前业务分配满足需求的带宽,建立通信链路,等待通信结束,释放信道资源。

3.2 算法的接入满意度分析

3.2.1 终端接入满意度模型

使用接入满意度表示用户对系统接入服务的满意程度。接入满意度与接入阻塞率、链路带宽和链路总时延相关,取值为范围[0,1],值越大表示用户对服务越满意。

终端节点到卫星网络存在一条链路 L ,用 Q 表示链路 L 中的接入满意度,则 Q 函数的计算公式为:

$$Q(L)=\frac{\alpha*\frac{B(L)}{B}*\delta*(1-S(L))}{\beta*\frac{D(L)}{D}} \tag{2}$$

其中, $B(L)$ 表示链路带宽, $D(L)$ 表示链路总时延, $S(L)$ 表示链路中的接入请求阻塞率, α,β,δ 分别是链路带宽、链路总时延和接入阻塞率的系数。

3.2.2 链路带宽分析

通信信道的分配策略是决定链路带宽的主要因素。本文用 B 表示链路 L 的带宽,定义为所有链路中所有节点的带宽上限集合中的最小值,如式(3)所示。

$$B(L)=\min\{B(l_i),i=1,2,\cdots,n\} \tag{3}$$

其中, $B(l_i)$ 表示 L 中第 i 个终端节点的带宽上限, i 为终端节点标号。

系统接入满意度的带宽参数取决于 B 与卫星所拥有的总带宽的比值。系统首先查询所有节点的带宽上限集合 B_c ,即 $B_c=\{B_{max1},B_{max2},\cdots\}$,可得该链路合理的带宽值 B'_{min} ,同时赋值给 B 和 B_{max} (B_{max} 表示该链路允许通过的最大带宽值)。然后,计算 Q 函数最小条件下满足要求的最小带宽值 B_{min} 。最后,判断此时的 B 是否满足自身业务级别的带宽需求,若满足,则允许接入;否则,带宽从 B 开始递减,执行带宽压缩操作,直到找到合适的带宽 B ;或者一直递减到 B_{min} 仍未满足带宽需求,拒绝接入请求,释放信道资源。

链路带宽的计算公式如式(4)所示。

$$B=B_{max}/2^i \tag{4}$$

其中, i 表示压缩带宽的次数,取值为 $\{0,1,2,\cdots,n\}$, B 的值域是 $[B_{min},B_{max}]$ 。

3.2.3 接入链路阻塞率分析

接入阻塞指当终端接入卫星网络时,链路可能处于繁忙状态的情况。每个终端节点都有可能发生阻塞,用 S 表示链路 L 的接入链路阻塞率,其计算公式如式(5)所示。

$$S(L)=1-\prod_{i=1}^n(1-S(l_i)) \tag{5}$$

其中, i 表示 L 中的终端节点标号, n 表示终端节点的总数, $S(l_i)$ 表示第 i 个终端节点的阻塞率。

接入阻塞率为接入阻塞总数与请求接入服务总数之比。设 n 为请求接入总数, b 为接入阻塞总数。接入链路阻塞率的计算原理如下,若有新的接入请求,则 n 加 1;若发生碰撞,启动退避机制。系统收到数据后,查询其携带的退避标志信息,若发生过碰撞, b 加 1,否则 b 不变。若接入请求到达率过高,数据排队等待,则 b 加 1,否则 b 不变。

假定用户是均匀分布的,则接入链路阻塞率的计算公式如式(6)所示。

$$S(l_i)=b/n*100\% \tag{6}$$

3.2.4 链路总时延分析

信令信道分配策略是决定链路总时延的主要因素。本文用 D 表示链路 L 中的总时延,定义为链路中所有节点的时延之和。它主要取决于信道分配策略和优先级取值。

链路总时延主要包括传播时延、发送时延、排队时延和退避时延。其中传播时延 D_1 与传播距离有关,由于收发节点距离固定,因此 D_1 是固定值。发送时延 D_2 与帧长和发送速率有关,其中帧长是定值,带宽足够时,发送速率也是定值,此时 D_2 也是定值;带宽不足时,发送速率降低,此时 D_2 变大。排队时延 D_3 是等待发送的时延,与系统容量有关。退避机制一旦启动,就会产生退避时延 D_0 。链路总时延的计算公式如式(7)所示。

$$D=\sum_{i=1}^n(i-1)D_0+i*(D_1+D_2+D_3) \tag{7}$$

其中, i 表示发送 RTS 帧的次数, n 表示终端节点的总数。

4 算法仿真及性能分析

本节在 Matlab 环境下考察 M_TSCA 算法的接入满意度性能,仿真条件如表 3 所列。

表 3 仿真条件

类别	名称	取值	单位
信道	带宽	10	MHz
	空闲时码速率	600	kbps
业务	多媒体类	最小码速率	80 kbps
		最大时延	10 s
	通话类	最小码速率	10 kbps
		最大时延	400 ms
	数据类	最小码速率	10 kbps
		最大时延	60 s

以乙级通信为例,设多媒体类、数据类和通话类业务到达率之比为 1:2:32,重要数据、常规数据和状态数据到达率之比为 10:5:1,其中重要数据和常规数据中的通话类和数据类比例为 4:1。业务级别对接入链路阻塞率的影响如图 9 所示。

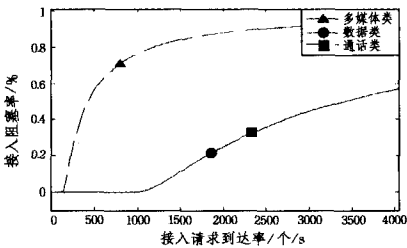


图 9 接入阻塞率

由图 9 可知,经过 M_TSCA 算法的优化后,多媒体类的接入请求到达率超过 125 才会产生阻塞;而通话和数据类只有超过 1000 之后才会产生阻塞,且由于通话和数据类的最小码速率相同,两条曲线发生了重合。因此,M_TSCA 算法下接入请求到达率介于 125 到 1000 之间才会阻塞。而常规算法在接入请求到达率超过 17 时就会产生阻塞,明显低于 M_TSCA 算法。

业务级别对链路总时延的影响如图 10 所示。

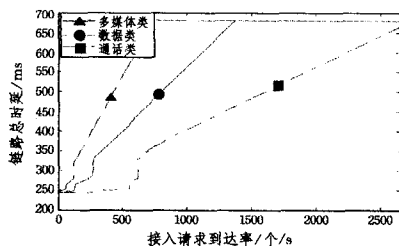


图 10 链路总时延

由图 10 可知,多媒体类的时延总是高于数据类,数据类的时延总是高于通话类,这是由其优先级决定的。而且在用户不多时,链路总时延很小;若用户过多,信道拥挤时,系统产生压缩处理时延以及等待时延,同时码速率降低,链路总时延就变大。当时延达到最大等待时延时,系统拒绝接入请求,时延不再增大。

业务级别对链路带宽的影响如图 11 所示。

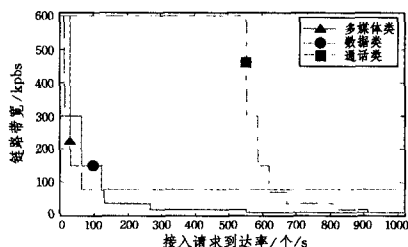


图 11 链路带宽

由图 11 可知,由于多媒体类优先级最低,信道拥挤时,首先压缩其信道带宽,直至带宽不可再次压缩,然后依次压缩数据类和通话类数据。

不同业务级别的接入满意度如图 12 所示。

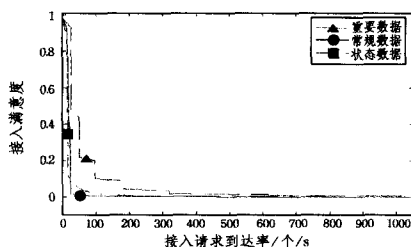


图 12 不同业务级别的接入满意度

由图 12 可知,系统优先考虑重要数据的通信质量,重要数据的接入满意度高于常规数据,常规数据的接入满意度高于状态数据,依次保证任务有序完成,进而达到其战略目的。

不同终端级别的接入满意度如图 13 所示。

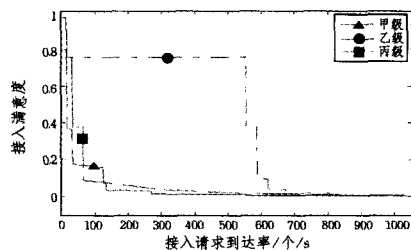


图 13 不同终端级别的接入满意度

由图 13 可知,对于不同终端而言,首先保证高优先级终端通信的接入满意度;甲级通信的接入满意度优于乙级通信;乙级通信优于丙级通信。

先来先服务(FIFS)算法、文献[9]中的 C-BTD 算法与 M_TSCA 算法的接入满意度对比如图 14 所示。

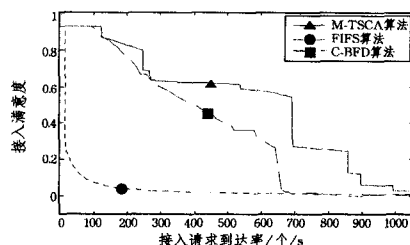


图 14 FIFS,C-BFD 与 M_TSCA 算法对比

由图 14 可知,对于 FIFS 算法,当请求到达率达到一定程度后,由于阻塞率和链路总时延增大,其接入满意度接近于 0。与 C-BFD 算法相比,M_TSCA 算法对系统做了优化。如图 14 所示,在一定的接入请求到达率期间,如 300 到 500 之间,通信质量几乎只受处理时延的影响,其影响微乎其微,可以保证高优先级通信的通信质量。实验表明,M_TSCA 算法的性能明显高于 C-BFD 算法和 FIFS 算法。

结束语 本文基于卫星网络多终端和多业务的背景,研究了业务优先级模型和接入满意度模型,提出了 M_TSCA 算法。实验结果表明,本文提出的竞争机制通过多次发送 RTS 帧,降低了请求碰撞率;所提出的带宽压缩机制减小了信道的压力,降低了系统的阻塞率,提高了资源利用率。

参考文献

- [1] LU W Y, JIA W J, DU W F, et al. Performance analysis of the contention resolution scheme in IEEE 802. 16 [J]. Journal of Software, 2007, 18(9): 2259-2270. (in Chinese)
陆文彦, 贾维嘉, 杜文峰, 等. IEEE802. 16 竞争解决方案的性能分析[J]. 软件学报, 2007, 18(9): 2259-2270.
- [2] IEEE 802. 16-2004 IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S].
- [3] CHEN S S, GUO Y C, ZHANG Y G. Adaptive channel allocation algorithm based on initialization of AP[J]. Computer Technology and Development, 2014, 24(11): 5-8. (in Chinese)
陈珊珊, 郭宇春, 张有根. 基于初始化 AP 的自适应信道分配算法[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(11): 5-8.
- [4] XIAO N, LIANG J, ZHANG H Y, et al. A Channel Access Strategy Based on Cognitive Radio for Satellite Communication Network[J]. Journal of Astronautics, 2015, 36(5): 589-595. (in Chinese)
肖楠, 梁俊, 张衡阳, 等. 一种基于认知无线电的卫星网络信道接入策略[J]. 宇航学报, 2015, 36(5): 589-595.
- [5] LI D, JI B H, WANG F, et al. The dynamic allocation of broadband DVB-RCS satellite access channel based on chaotic prediction[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2008, 30(3): 607-611. (in Chinese)

(下转第 144 页)

- route lifetime for maximizing network lifetime in MANET[C]// 2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET). IEEE, 2012; 792-797.
- [6] YU F R, HUANG M, TANG H. Biologically inspired consensus-based spectrum sensing in mobile ad hoc networks with cognitive radios[J]. IEEE Network the Magazine of Global Internet-working, 2010, 24(3): 26-30.
- [7] YU F R, TANG H, HUANG M, et al. Distributed Cooperative Spectrum Sensing in Mobile Ad Hoc Networks with Cognitive Radios[J]. Mathematics, 2011, 24(3): 26-30.
- [8] GUAN Q, YU F R, JIANG S, et al. Prediction-Based Topology Control and Routing in Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(9): 4443-4452.
- [9] CHOWDHURY K R, FELICE M D, AKYILDIZ I F. TP-CRAHN: a Transport Protocol for Cognitive Radio Ad-Hoc Networks[C]// INFOCOM 2009. IEEE, 2009; 2482-2490.
- [10] SI P, JI H, YU F R, et al. Optimal Cooperative Internetwork Spectrum Sharing for Cognitive Radio Systems With Spectrum Pooling[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(4): 1760-1768.
- [11] AKYILDIZ I F, LEE W Y, CHOWDHURY K R. CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks[J]. Ad Hoc Networks, 2009, 7(5): 810-836.
- [12] DING L, MELODIA T, BATALAMA S N, et al. Cross-Layer Routing and Dynamic Spectrum Allocation in Cognitive Radio Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(4): 1760-1768.
- [13] WYSOCKI T, JAMALIPOUR A. MAC Framework for Intermittently Connected Cognitive Radio Networks[C]// IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009. IEEE, 2009; 481-485.
- [14] LI B, PEI Y, WU H, et al. Heuristics to allocate high-performance cloudlets for computation off loading in mobile ad hoc clouds[J]. The Journal of Supercomputing, 2015, 71(8): 3009-3036.
- [15] CHU T, NIKOLAIDIS I. Node density and connectivity properties of the random waypoint model[J]. Computer Communications, 2014, 27(10): 914-922.
- [16] ZHANG Y, LIU W, LOU W, et al. MASK: anonymous on-demand routing in mobile ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 5(9): 2376-2385.
- [17] The Network Simulator-ns-2[EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [18] PERKINS, CHARLES E, ROYER, et al. Ad-hoc on-demand distance vector routing[C]// Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 2009 (WMCSA '99). IEEE, 2009; 90-100.
- [19] ZHENG Y P, HE S B, ZHANG X Y, et al. A Game-based Channel Assignment for Wireless Mesh Networks[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2013, 27(4): 90-95. (in Chinese)
- 郑鹏宇, 何世彪, 张馨月, 等. 一种基于博弈论的无线网状网络信道分配算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2013, 27(4): 90-95.

(上接第 136 页)

- 李斗, 姬冰辉, 王峰, 等. 基于混沌预测的宽带 DVB-RCS 卫星接入信道动态分配方案研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(3): 607-611.
- [6] DUAN W W, NI G Q, QIU X F, et al. Method of satellite access resource scheduling based on greedy algorithm[J]. Journal of Military Communications Technology, 2013, 34(4): 20-24. (in Chinese)
- 段伟伟, 倪桂强, 仇小峰, 等. 基于贪婪算法的卫星接入资源调度方法[J]. 军事通信技术, 2013, 34(4): 20-24.
- [7] DONG Q J, ZHANG J, ZHANG T, et al. Resource allocation strategies in MF-TDMA satellite systems[J]. Journal of Astronautics, 2009, 30(9): 1718-1726. (in Chinese)
- 董启甲, 张军, 张涛, 等. 高效 MF-TOMA 系统时隙分配策略[J]. 宇航学报, 2009, 30(9): 1718-1726.
- [8] FENG S D, XIE Z D, JIE X, et al. Research and Simulation on Priority Setting Strategy for Calls in Low Earth Orbit Constellation System[J]. Journal of Astronautics, 2010, 31(2): 485-588. (in Chinese)
- 冯少栋, 谢智东, 揭晓, 等. 低轨星座系统中呼叫优先级策略研究及仿真[J]. 宇航学报, 2010, 31(2): 485-588.
- [9] XU Q L, CHEN J Z, LIU L X. Channel Allocation Algorithm in MF-TDMA GEO Satellite System [J]. Computer Science, 2014, 41(4): 40-43. (in Chinese)
- 徐其乐, 陈建州, 刘立祥. GEO 卫星通信系统中 MF-TDMA 信道分配算法研究[J]. 计算机科学, 2014, 41(4): 40-43.
- [10] WEI S, LIU W, CHEN X H, et al. Distributed Constraint Satisfaction of an Improved Channel Assignment Approach in Cellular Network[J]. Computer Science, 2012, 39(6): 81-83. (in Chinese)
- 韦沙, 刘威, 陈小慧, 等. 蜂窝网中基于分布式约束满足算法的改进信道分配[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 81-83.
- [11] SILVEIRA D, PORTO M, AGOSTINI L. A real time high definition architecture for the variable-length reference frame decoder[C]// IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems, Cusco, Peru, New York; IEEE, 2013; 1-4.
- [12] HALDER N, SONG J B. Game theoretical analysis of radio resource management in wireless networks: a non-cooperative game approach for power control[J]. IJCSNS International Journal of Computer science and Network Security, 2007, 7(6): 84-92.
- [13] ALVAERZ-DIAZ M, LÓPEZ-VALCARCE R, MOSQUERA C. SNR estimation for multilevel constellations using higher-order moments [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(3): 1515-1526.
- [14] KOUTSAKIS P. Predictive resource reservation access for multimedia integration over GEO satellite networks [C]// Proceedings of the Third International Conference on Wireless and Mobile Communications, 2007.