

文章编号: 2095-4980(2013)05-0707-05

面向 LTE 的静止轨道卫星通信系统随机接入方式

陈坤汕, 王大鸣, 徐 尧

(解放军信息工程大学 信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 针对长期演进计划(LTE)系统和卫星移动通信系统融合中接入方式存在的问题, 提出了一种面向 LTE 的静止轨道(GEO)卫星移动通信的随机接入方式。该方式参考了卫星通用通信系统(S-UMTS)和长期演进计划系统的随机接入方式设计, 对接入前导和接入时隙作适应性修改, 并提出了一种新的用户随机接入流程。通过随机接入时隙长度的扩展, 将控制信息加入到接入前导中, 解决了 GEO 卫星环境下用户接入时间长和用户之间时延差大的问题; 提出的用户随机接入流程, 有效改善了用户的接入时间性能。仿真结果表明, 提出的随机接入方式适用于面向 LTE 的 GEO 卫星通信系统。

关键词: 长期演进计划; 一种随机接入系统; 静止轨道; 保护间隔; 接入前导; 接入流程

中图分类号: TN925

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201305.0707

Random access method for GEO satellite communication system-oriented LTE

CHEN Kun-shan, WANG Da-ming, XU Yao

(Institute of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: According to Long Term Evolution(LTE) system and satellite mobile communication system integration of access problems, a Random Access Method is presented for Geosynchronous Orbit(GEO) Satellite Communication system-oriented LTE. Based on the random access design in S-UMTS system and LTE system, a new structure of access preamble and slots is proposed and a new procedure of transmitting access request corresponding to the new structure is suggested. In the new structure, the problems such as long access time and different long transmission delays in GEO satellite communication environment are improved by increasing the length of access slot and adding control information to access preamble. The proposed access procedure effectively improve the performance of the access time. Simulation results show that, the proposed scheme is suitable to the GEO satellite communication system-oriented LTE.

Key words: Long Term Evolution; Additive Link On-line Hawaii(ALOHA) system; Geosynchronous Orbit; guard time; access preamble; access procedure

近年来卫星移动通信与 3G 系统的融合正在实践过程中, LTE 体制也已经成熟, 但是 LTE 系统与 GEO 卫星通信的融合^[1]还处于起步阶段。卫星通信环境的特殊性, 给正交频分复用^[2-3](Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)为关键技术的 LTE 系统在卫星上的应用带来众多技术上的挑战。多址接入作为融合的关键因素, 也成为国内外研究的重点。

LTE 系统采用的随机接入(ALOHA)方式是基于资源预留的时隙方式^[4-5]。时隙 ALOHA 运用于 GEO 卫星移动通信中, 由于卫星通信时延大, 波束覆盖范围广(半径往往超过 300 km), 用户分布随机, 需要面对卫星用户接入时间长和用户之间时延差大的问题。而且卫星信道环境下信号传播损耗大, 用户频繁重新接入导致接入功率攀升严重, 影响系统性能。文献[6]提出了一种扩展接入前缀长度的时隙 ALOHA 方式, 其增加了接入前缀的捕获概率, 但对于卫星移动终端的接入时间性能没有带来改善。文献[7]中, 提出了一种 GEO 卫星 CDMA(Code Division Multiple Access)移动通信系统下的随机接入方式, 其提高了在码分多址(CDMA)系统环境下的用户接入时间性能, 但其基于码片的帧结构和其接入消息的设置并不适用于基于 OFDM 的 LTE 系统。针对以上问题, 结合参考第 3

收稿日期: 2012-09-10; 修回日期: 2012-09-27

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(2011ZX03003-003-02; 2009ZX03003-008-02); 国家高技术研究发展计划基金资助项目(“863”计划)(2009AA011504)

代 CDMA 卫星移动通信^[8]的接入方式,设计一种适用于面向 LTE 的 GEO 卫星移动通信的随机接入方式。

1 随机接入帧结构和接入过程

1.1 随机接入帧结构

在 LTE 系统中,随机接入方案设置的小区范围为 5 km~30 km。其随机接入技术主要采用基于资源预留的 slotted ALOHA,即用户是先申请后调度接入。图 1 是随机接入前导示意图,随机接入前导信号由循环前缀(Cyclic Prefix, CP, 长度为 T_{CP})、前导序列 Preamble^[9](长度为 T_{SEQ})和保护间隔 GT(长度为 T_{GT} , 保护间隔内不进行任何数据发送)组成,和随机接入时隙时长一样都为 1 ms。

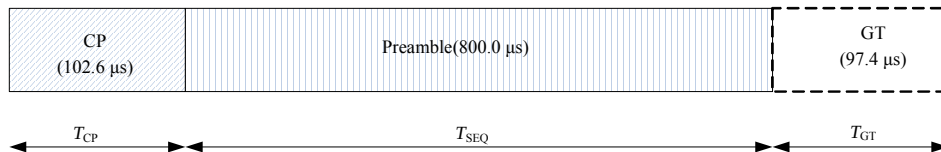


Fig.1 Random access preamble signal format

图 1 LTE 随机接入前导信号格式

不能将上述的随机接入前导结构直接运用于 GEO 卫星通信系统中,因为 GEO 卫星的环路延迟(Round-Trip Delay, RTD)达到 270 ms 左右,而且一个波束范围为一般几百到上千千米,那么在一个波束范围内的时延差将达到十几毫秒,1 ms 的接入时长显然不能满足所有可能的时延差。定义用户 i 和用户 j 之间的时延差为 $\Delta t_{i,j}$,表达式如下:

$$\Delta t_{i,j} = \frac{|d_i - d_j|}{c} \quad (1)$$

式中: d_i 和 d_j 分别表示用户 i 和用户 j 到卫星的距离; c 表示光速(3×10^8 m/s)。假设在最大 RTD 情况下,即用户 i 和用户 j 分别表示位于波束中心和波束边缘的用户, GEO 卫星高度为 36 000 km,最小仰角为 16° , $\Delta t_{i,j}$ 在不同的波束范围的取值结果如表 1 所示。表 1 中, $\Delta t_{i,j}$ 会大于 LTE 系统内的一个接入时隙的长度,那么长度为 1 ms 的随机接入时隙不能适应所有可能的 $\Delta t_{i,j}$ 。例如,假设一个波束范围为 3 000 km,其仰角为 10° ,那么此时的最大时延差将达到 20 ms 左右。故需要对随机接入前导和接入时隙做新设计。

表 1 不同卫星点波束范围下的用户 i 和 j 之间的 RTD 差值
Table1 RTD difference between user i and user j according to satellite spot beam sizes

spot beam size/km	$\Delta t_{ij}/\text{ms}$
1 000	6.3
1 500	9.3
2 000	12.4

1) 保护间隔

保护间隔时长是用来调整往返传播时延 RTD,系统所支持的小区最大半径是由保护间隔时长来决定。针对卫星通信具有时延大和波束覆盖范围广的特点,参考 S-UMTS(卫星通用通信系统)协议下的随机接入时隙设计^[5],对保护间隔做新设计。在移动通信过程中,每公里长度需要大约 $6.67 \mu\text{s}$ 的保护间隔时间。在 GEO 卫星波束覆盖半径为 325 km 的情况下,一个波束下的最大时延差将达到 2.16 ms,那么需要保护间隔时间为 2.16 ms,即 65 560 个 T_s ,其中 T_s 为 LTE 系统采样间隔,其值为 $1/(15\,000 \times 2\,048)$ s。

2) 接入时隙长度

为满足以上保护间隔时间,需要对接入时隙长度重新设计。通过采用扩展序列的方法,可以支持较大小区。在 LTE 系统中考虑以下 3 种可能的序列扩展方法,以满足较大小区的接入问题。

- 另外定义一组时域长度等于多个传输时间间隔(Transmission Time Interval, TTI)的扩展序列;
- 将原序列重复多次,得到时域长度等于多个 TTI 的序列;
- 保持原序列不变,只是采用加长的 CP 和 GT。

采用简单的短码重复比设计单独的具有更低的复杂度和更好的抗频偏性能,因此没有必要再重新设计单独的码序列。LTE 系统设计中为支持更大的小区覆盖范围,采用将加长的 CP,GT 以及原序列重复 2 次,但其接入前导可支持的最大小区覆盖半径也仅为 100 km,小于 GEO 卫星波束覆盖范围半径(325 km)。

参考 LTE 系统设计思想,采用加长的 CP 和 GT,以及原序列重复 2 次。但是为满足 GEO 卫星点波束覆盖半径,不仅需要 2.16 ms 的保护间隔,而且随机接入时隙也要满足一定的时长(假设为 10 ms)。若只采用重复 2 次的前导序列,即前导信号时长为 1.6 ms,而保护间隔是 2.16 ms,那么循环前缀将达到 6.24 ms,显然会造成资源的浪费。结合本文提出随机接入流程策略,将控制信息(Control Information)加入到接入前导中,既满足了时隙长度的要求,也减少了接入流程的步骤。参考 S-UMTS 协议下的随机接入时隙设计和文献[6]接入时隙长度设计,设置随机接入时隙为 16 ms,即保护间隔 2.16 ms,前导信号时长 1.6 ms,循环前缀 2.24 ms,并加入控制信息 10 ms,如图 2 所示。

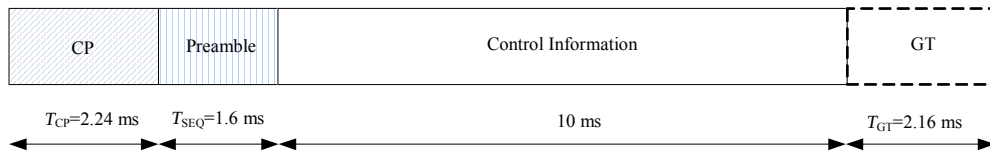


Fig.2 Concept of proposed random access frame structure for satellite system

图 2 适用于卫星系统的随机接入帧结构

随机接入时隙长度的增加,适应了一个波束范围内所有可能的时延差,提高了接入前导和控制信息的正确解码概率,从而提高接入概率性能。同时将控制信息加入到接入前导中,减少了随机接入流程的步骤,降低了平均接入时间,使得 GEO 卫星通信可以适应 LTE 系统。

1.2 随机接入发送策略

随机接入过程分为基于竞争的随机接入和基于非竞争的随机接入 2 种^[10]。基于竞争的随机接入可应用于所有需要随机接入的接入场景;非竞争随机接入方式仅在切换和下行数据到达情况下才会采用,而且需要基站事先分配前导码给用户。卫星系统是一个星上资源受限系统,适合采用基于竞争的随机接入。

在 LTE 系统中,基于竞争的随机接入流程主要分为 4 个步骤,共需 2 个来回,如图 3 所示。在 GEO 卫星通信环境下,一次接入的往返时延高达 540 ms,若依然采用该接入流程,则其最短的接入时间为 2×540 ms(接入消息均一次性成功接收)。考虑到卫星通信系统中终端数量较少,同时发起呼叫接入的概率较低,为了缩短终端的平均接入时间,本文提出将接入前导和接入控制信息同时发射出去,这样就缩短了接入流程。LTE 系统之所以考虑采用图 3 的接入流程,是因为用户的接入时隙长度有限,及用户同时发起呼叫的概率较大,存在较大的冲突碰撞风险。

图 4 为本文提出的随机接入流程。用户随机接入过程分为以下 3 个步骤:

1) 用户在发起呼叫时根据下行信道测量设定接入前导和接入控制信息的初始发射功率,并在下一个接入时隙的起始位置将随机接入前导和控制信息同时发送出去^[11]。控制消息包含了用户的随机接入原因、具体资源请求、消息类型以及用户标识类型。

2) 系统向用户反馈的上行定时提前量供用户上行的定时同步校正,同时根据用户的需求反馈确认信息,如调度资源、更新和注册用户信息等。若用户没有接收到随机接入尝试反馈,或者收到接入反馈但接入控制信息的 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request)重传失败,即用户碰撞冲突,则随机选择下一个接入时隙重发接入前导和控制信息。

3) 成功接收反馈响应,根据反馈信息进行下一步操作,至此随机接入进程完成,可以开始上行数据的发送。接入前导时长的增加,适应了所有可能的时延差,满足 GEO 卫星系统下的随机接入性能要求。接入流程将接入前导和控制信息一起发送出去,减少了往返步骤,提高了时间性能。

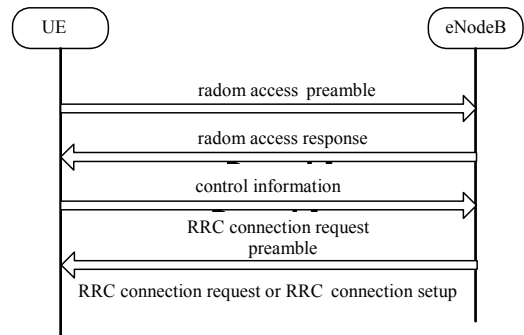


Fig.3 Random access procedure based on competition in the LTE system

图 3 LTE 系统中基于竞争的随机接入流程图

2 仿真结果

本文的仿真条件采用文献[12]中的卫星莱斯信道,相关信道参数如表 2 所描述。其中参数 P_m 表示径功率,参数 C 为直达径与多径的功率比。从表 2 可以看出该卫星信道包含了直达径和非直达径,这是由于信道的莱斯

分布和瑞利分布产生的。用户设备则为手持终端, 相关参数由表 3~表 4 中的卫星天线和终端天线参数获得。

判断接入成功或失败, 则需要设定接入定时器超时时间, 若超出规定时间值则表示接入失败。本文考虑的是单跳环境下的 GEO 卫星通信链路, 其往返时间为 540 ms, 参考 S-UMTS 系统中的 550 ms 设计, 接入定时器的超时时间选择为 600 ms。

表 2 卫星莱斯信道模型

path No.	delay/ns	amplitude distribution	amplitude distribution parameter/dB	average amplitude to spatial propagation	Rice factor/dB	Doppler spectrum
1	0	LOS:Rice	$10\log C$	0	10	Rice
		NLOS:Rayleigh	$10\log P_m$	-7.3	-	classic
2	100	Rayleigh	$10\log P_m$	-23.6	-	classic
3	180	Rayleigh	$10\log P_m$	-28.1	-	classic

表 3 卫星天线参数

Table3 Satellite antenna parameters

antenna aperture/m	antenna receiving gain/dB	loss of duplexer and feeder/dB	antenna G/T	Num. of beams
12.5	42.5	3	14 dB/K	109

表 4 终端天线参数

Table4 UE antenna parameters

UE sending power/W	UE antenna gain/dB	attenuation of atmospheric absorption/dB	[EIRP]user/dB	[C/N]dB
1	0	3	0	-16.4

考虑到在 S-UMTS 系统中, 其保护间隔也只有 79.8 km^[6], 为了便于比较仿真结果, 将本文提出的随机接入前导信号时长 6 ms 与 LTE 系统中可支持最大小区范围(100 km)的格式 3^[12]随机接入前导信号时长 3 ms 进行比较, 同时接入方式均按本文提出的接入流程, 即随机接入前导和控制信息同时发送出去, 分别是 6 ms 的前导信号时长加 10 ms 的控制信息, 3 ms 的前导信号时长加上 10 ms 的控制信息。图 5 为仿真对比结果, 横轴为同时接入用户个数, 纵轴为平均接入时间和接入前导正确接收概率。

同时接入用户个数和平均接入时间及接入概率的关系如图 5 所示, 从图 5 可以看出, 本文提出的随机接入帧结构及其接入方式, 适用于面向 LTE 的 GEO 卫星通信系统, 同时在性能上优于 LTE 系统中格式 3^[13]的随机接入方式, 这是由于随机接入前导长度的增加, 即循环前缀、前导序列和保护间隔的增加, 减少了多个用户同时接入的碰撞概率; 随机接入流程的缩短, 在时间性能上得到了保障。虽然接入时隙长度的增加会增加用户的碰撞概率, 但接入前导长度的增加所获得的时延性能显然远大于碰撞概率带来的性能损失。

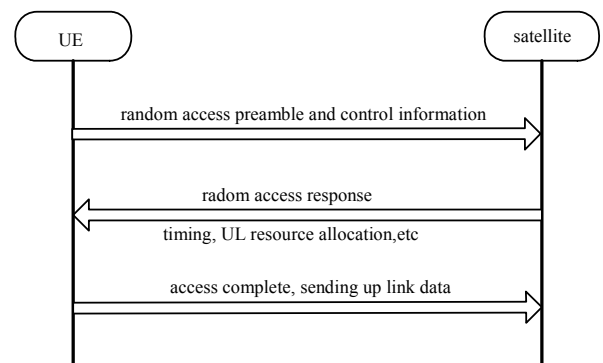


Fig.4 Random access procedure in GEO satellite system

图 4 GEO 卫星随机接入流程

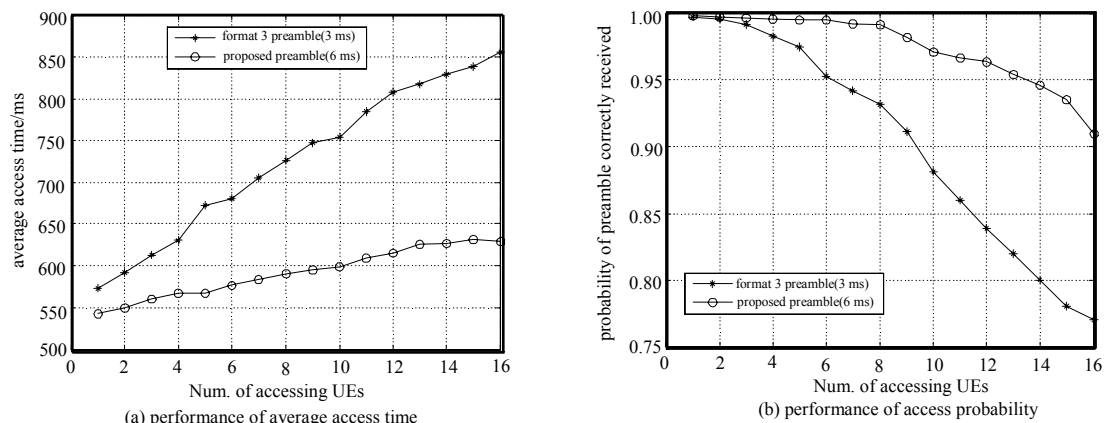


Fig.5 Relation between number of accessing UEs and performance of average access time, access probability, respectively

图 5 同时接入用户个数和平均接入时间及接入概率的关系

3 结论

本文提出了一种适用于 LTE 的 GEO 卫星通信系统的随机接入方式。该接入方式将接入前导进行扩展, 同时

加入控制信息,在发送流程中将两者同时发送出去。理论分析及仿真结果表明,该接入方式适应于面向LTE的GEO卫星通信系统,将接入流程缩短为一个来回的接入策略对卫星通信系统具有一定的参考意义。本文提出的解决方案是在时域资源上进行修改,下一步计划是对频域资源进行修改,以进一步提高性能。

参考文献:

- [1] 任术波,栾西,徐晓燕,等. 基于B3G/4G标准的卫星移动通信系统关键技术研究[C]// 第七届卫星通信新业务新技术年会论文集. 北京:中国通信学会, 2011:259-265. (REN Shubo, LUAN Xi, XU Xiaoyan, et al. Based on B3G/4G standard satellite mobile communication system key technology research[C]// The 7th satellite communication new technology and new business conference. Beijing:China Institute of Communications, 2011:259-265.)
- [2] Shim M J, Han J S, Roh H J, et al. A frequency synchronization method for 3GPP LTE OFDMA system in TDD mode[C]// International symposium on communications and information technologies(ISCIT). South Korea:[s.n.], 2009:864-868.
- [3] 赵海龙,张健,周劼. 下一代无线通信关键技术及其在遥测中的应用[J]. 信息与电子工程, 2012,10(1):1-6. (ZHAO Hailong, ZHANG Jian, ZHOU Jie. Key techniques of next generation wireless communication and their applications in Telemetry[J]. Information and Electronic Engineering, 2012,10(1):1-6.)
- [4] 3GPP R1-082469. LTE-Advanced-Coordinated Multipoint Transmission/Reception[Z]. Stockholm, Sweden:Ericsson, 2010.
- [5] Ansari A, Dutta S, Tseytlin M. S-WiMAX:Adaptation of IEEE 802.16e for Mobile Satellite Services[J]. IEEE Communications Magazine, 2009,47(6):150-155.
- [6] WANG Hongxia, PAN Wei, PAN Chengsheng. The Research of OFDM Channel Estimation in Broadband Satellite Communication Systems[C]// Environmental Science and Information Application Technology. Wuhan:[s.n.], 2009:515-518.
- [7] 张丙杰,胡捍英,王大鸣. 一种增强的GEO卫星CDMA通信系统随机接入方式[J]. 电路与系统学报, 2010,15(5):122-126. (ZHANG Bingjie, HU Hanying, WANG Daming. A New Random Access for GEO satellite CDMA communication system[J]. Journal of Circuits and Systems, 2010,15(5):122-126.)
- [8] 陈朝,汤天浩. 基于混沌扩频CDMA的伽利略卫星定位系统编码技术[J]. 信息与电子工程, 2010,8(2):128-133. (CHEN Chao, TANG Tianhao. Coding technology in Galileo system based on chaotic spreading spectrum CDMA[J]. Information and Electronic Engineering, 2010,8(2):128-133.)
- [9] 3GPP, R1-070377. Restricted sets of RACH preamble signatures for environments with high Doppler shifts[Z]. Espoo, Finland: Nokia, 2007.
- [10] 3GPP, R2-061464. Random Access and UL Scheduling[Z]. Chicago, USA:Motorola, 2008.
- [11] 3GPP R1-082469. LTE-Advanced-Coordinated Multipoint Transmission/Reception[Z]. Stockholm, Sweden:Ericsson, 2010.
- [12] 张新程,田涛,周晓津. LTE空中接口技术与性能[M]. 北京:人民邮电出版社, 2009. (ZHANG Xincheng, TIAN Tao, ZHOU Xiaojin. LTE air interface technology and performance[M]. Beijing:The people's Post and Telecom Press, 2009.)
- [13] ITU, Rec. ITU-R M. 1225. Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000[Z]. ITU-R, 1997.

作者简介:



陈坤汕(1988-),男,福州市人,在读硕士研究生,主要研究方向为移动通信.email: skc8189@126.com.

王大鸣(1971-),男,辽宁省大连市人,教授、博士生导师,主要研究方向为无线与移动通信.

徐尧(1985-),男,银川市人,在读硕士研究生,主要研究方向为移动通信.