



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106921523 B

(45)授权公告日 2019.12.31

(21)申请号 201710158575.X

H04L 12/751(2013.01)

(22)申请日 2017.03.17

H04L 12/26(2006.01)

H04B 7/185(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106921523 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(73)专利权人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市太白南路2号西安电子科技大学

(72)发明人 刘立芳 吴丹 郎晓光 齐小刚

(74)专利代理机构 西安长和专利代理有限公司 61227

代理人 黄伟洪

(51)Int.Cl.

H04L 12/24(2006.01)

H04L 12/715(2013.01)

(56)对比文件

CN 103905306 A,2014.07.02,

CN 103178895 A,2013.06.26,

CN 103686948 A,2014.03.26,

CN 103178895 A,2013.06.26,

WO 2015013216 A1,2015.12.09,

赵静,赵尚弘,李勇军,赵卫虎,韩磊,李轩.星间激光链路数据中继技术研究进展.《红外与激光工程》.2014,第42卷(第11期),全文.

姚晔,梁旭文.LEO&GEO双层卫星网络的动态路由技术.《系统工程与电子技术》.2013,第35卷(第9期),全文.

审查员 陈娟

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法

(57)摘要

本发明属于数据传输技术领域,公开了一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法,包括:GEO卫星定期地向外发送hello数据包,数据包中包含有GEO卫星节点的id以及其他字段;当LEO接收到GEO发送的hello数据包后,计算数据包在传输过程中的时延值;当LEO收到多个hello数据包,则比较不同GEO卫星节点发送数据包的传输时延,传输时延小,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较近;传输时延大,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较远;当LEO卫星节点没有GEO接入卫星节点时,则通过同轨道卫星节点进行数据中继传输;传输过程中以跳数统计数据的传输距离;当GEO卫星节点接收到LEO卫星传来的数据包,判断LEO卫星节点发送来的数据包中的接入卫星字段:acc_geo是否为本卫星节点,若不是,则将数据包删除;若是,进入步骤S105;判断本卫星节点的id是否为3或4节点,若id_self=3或4,则将数据包向地面转发,若id_self=1,则将数据包传输向4节点,若id_self=2,则将数据传向3节点;地面站接受GEO传输的数据并进行相应的处理.



1. 一种基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法,其特征在于,所述基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法包括以下步骤:

步骤一,GEO卫星定期地向外发送hello数据包,数据包中包含有GEO卫星节点的id以及其他字段;

步骤二,当LEO接收到GEO发送的hello数据包后,计算数据包在传输过程中的时延值,若LEO收到多个hello数据包,则比较不同GEO卫星节点发送数据包的传输时延,传输时延小,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较近;传输时延大,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较远;

步骤三,当LEO卫星节点没有GEO接入卫星节点时,则通过同轨道卫星节点进行数据中继传输;传递过程中以跳数统计数据传输距离;

步骤四,当GEO卫星节点接收到LEO卫星传来的数据包,判断LEO卫星节点发送来的数据包中的接入卫星字段:acc_geo是否为本卫星节点,若不是,则将数据包删除;若是,进入步骤五;

步骤五,判断本卫星节点的id是否为3或4节点,若id_self=3或4,则将数据包向地面转发,若id_self=1,则将数据包传输向4节点,若id_self=2,则将数据传向3节点;

步骤六,地面站接受GEO传输的数据并进行相应的处理。

2. 如权利要求1所述的基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法,其特征在于,所述步骤二中传输时延的计算公式如下式所示:

$$D_i = T_{\text{temp}} - T_{\text{creat}}(\text{pkt}) \quad (1)$$

D_i 为LEO卫星节点收到GEO卫星节点数据包的传输时延,GEO卫星节点的id为*i*, T_{temp} 为当前仿真时间, $T_{\text{creat}}(\text{pkt})$ 为数据包的创建时间;

最小传输时延 D_{min} 的获取如下所示:

$$D_{\text{min}} = \min \{D_i, D_j, \dots\} \quad (2)$$

D 为选择传输时延最小的GEO卫星节点作为LEO卫星节点数据传输的接入节点。

3. 如权利要求1所述的基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法,其特征在于,所述步骤三中在传递的数据包中,有跳数字段num_hop,当数据包从源节点发送时,num_hop=0,数据包每经过一个LEO节点,判断该LEO卫星节点是否有GEO接入卫星,若有GEO接入卫星,则将数据包发往GEO卫星节点,如没有GEO接入卫星,num_hop加1,继续向同轨道卫星节点进行中继;当num_hop=3时,若依旧没有向GEO卫星节点进行数据传输,则将数据包丢弃。

4. 一种如权利要求1所述基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法使用的网络拓扑模型,其特征在于,所述网络拓扑模型为GEO/LEO双层卫星网络模型;通过GEO卫星网络层进行实时传输,将数据传输到地面站;在网络拓扑模型中,LEO卫星数量为11*2颗,采用两条低轨卫星轨道,每条卫星轨道上的卫星个数为11颗,GEO卫星则使用地球同步轨道卫星,数量为4颗。

5. 一种如权利要求1所述基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法使用的业务传输模型,其特征在于,所述业务传输模型使用low、mid、high三种数据发送速率来模拟三种业务类型。

6. 一种如权利要求1所述基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法使用的路由机制,其特征在于,所述路由机制采用固定路由的方式。

7.一种应用权利要求1~3任意一项所述基于GEO和LEO卫星网络的数据传输方法的通信卫星。

一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法

技术领域

[0001] 本发明属于数据传输技术领域,尤其涉及一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法。

背景技术

[0002] 随着航天技术的发展,空间卫星技术在国防和民用领域也得到了快速的发展。卫星网络在地理勘测、气象预警、自然灾害救援以及通信等方面有广泛的应用。同地面网络相比,卫星网络不受高山、河流以及建筑物等地理环境的限制,能够在广阔的范围内实现数据的传输。卫星间进行通信时,数据的传输介质可视为真空,传输环境对数据传输的影响较小,同时空间网络中节点间的距离较远,传输时延对数据传输的影响较为显著。在空间卫星网络中,LEO卫星距地面较近,绕地循环周期较短,能够很好的进行地理、气象信息的收集。同时,LEO卫星的循环周期短、移动速度快以及覆盖面积小等特点也导致了向地面发送数据的时间很短,通常只有几分钟,因此在短时间内LEO卫星很难将收集的数据传向地面。地球同步轨道卫星在数据传输、覆盖区域等方面具有良好的性能,只需要三颗卫星即可对地球中低纬地区实现覆盖,通过地球同步轨道卫星与LEO卫星网络的联合通信,采用合适的无线中继策略能够将LEO卫星网络所收集到的数据进行实时传输。当卫星网络用于通信时,通信的信息具有多样性,对传输链路情况有着不同的需求。在卫星网络中,网络的拓扑结构变化比较快,采用基于静态拓扑结构路由算法选取的路径,放眼于在全局时,则不一定是最优的路径。一种基于GEO中继网络的DTN路由算法,该算法通过对下一跳路由的实时更新,并根据预计交付时间和预计交付成本来获取传输的最优路径。在GEO/LEO双层卫星网络中提出了一种数据驱动的路由算法,该路由算法通过流量传输均衡和区域划分的方法对数据进行传输,在该算法中由轨道头结点对本轨道的路由进行管理。然而,由于卫星的移动性,使得轨道头结点无法一直处于GEO卫星节点的覆盖范围内。结合LEO卫星的实时传输信息的优点与GEO卫星较强计算能力的优点,提出了SARA(自治路由算法)算法。利用ISL(星间链路)的连通性规则来划分网络拓扑和计算路由。算法具有自治性,具有更好的抗毁性,可以减少信息负载,增加数据包的正确传输率,提高了网络处理故障节点的能力。一种基于流量预测的动态路由算法—TPDR算法,该算法具有双层架构,包括LEO层和GEO层,TPDR算法支持新的节点加入网络,同时基于流量的预测防止管理节点超负荷。主要解决2个问题:处理动态接入新节点问题、解决管理节点负载问题。TPDR算法可以支持新节点加入网络中,可以保证高实时性和数据完整性,可以减少端到端的时延,可以减少丢包率。

[0003] 综上所述,现有技术存在的问题是:LEO卫星网络数据的传输时间短。

发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法。

[0005] 本发明是这样实现的,一种基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法,所述基于GEO/

LEO卫星网络的数据传输方法包括以下步骤:

[0006] 步骤一, GEO卫星定期地向外发送hello数据包, 数据包中包含有GEO卫星节点的id以及其他字段;

[0007] 步骤二, 当LEO接收到GEO发送的hello数据包后, 计算数据包在传输过程中的时延值, 若LEO收到多个hello数据包, 则比较不同GEO卫星节点发送数据包的传输时延, 传输时延小, 则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较近; 传输时延大, 则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较远;

[0008] 步骤三, 当LEO卫星节点没有GEO接入卫星节点时, 则通过同轨道卫星节点进行数据中继传输; 传递过程中以跳数统计数据传输距离;

[0009] 步骤四, 当GEO卫星节点接收到LEO卫星传来的数据包, 判断LEO卫星节点发送来的数据包中的接入卫星字段: acc_geo是否为本卫星节点, 若不是, 则将数据包删除; 若是, 进入步骤五;

[0010] 步骤五, 判断本卫星节点的id是否为3或4节点, 若id_self=3或4, 则将数据包向地面转发, 若id_self=1, 则将数据包传输向4节点, 若id_self=2, 则将数据传向3节点;

[0011] 步骤六, 地面站接受GEO传输的数据并进行相应的处理。

[0012] 进一步, 所述步骤二中传输时延的计算公式如下式所示:

$$D_i = T_{\text{temp}} - T_{\text{creat}}(\text{pkt}) \quad (1)$$

[0014] D_i 为LEO卫星节点收到GEO卫星节点数据包的传输时延, GEO卫星节点的id为*i*, T_{temp} 为当前仿真时间, $T_{\text{creat}}(\text{pkt})$ 为数据包的创建时间。

[0015] 最小传输时延 D_{min} 的获取如下所示:

$$D_{\text{min}} = \min \{D_i, D_j, \dots\} \quad (2)$$

[0017] D 为选择传输时延最小的GEO卫星节点作为LEO卫星节点数据传输的接入节点。

[0018] 进一步, 所述步骤三中在传递的数据包中, 有跳数字段num_hop, 当数据包从源节点发送时, num_hop=0, 数据包每经过一个LEO节点, 判断该LEO卫星节点是否有GEO接入卫星, 若有GEO接入卫星, 则将数据包发往GEO卫星节点, 如没有GEO接入卫星, num_hop加1, 继续向同轨道卫星节点进行中继。当num_hop=3时, 依旧没有向GEO卫星节点进行数据传输, 则将数据包丢弃。

[0019] 本发明的另一目的在于提供一种所述基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法使用的网络拓扑模型, 所述网络拓扑模型为GEO/LEO双层卫星网络模型; 通过GEO卫星网络层进行实时传输, 将数据传输到地面站; 在网络拓扑模型中, LEO卫星数量为11*2颗, 采用两条低轨卫星轨道, 每条卫星轨道上的卫星个数为11颗, GEO卫星则使用地球同步轨道卫星, 数量为4颗。

[0020] 本发明的另一目的在于提供一种所述基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法使用的业务传输模型, 所述业务传输模型使用low、mid、high三种数据发送速率来模拟三种业务类型。

[0021] 本发明的另一目的在于提供一种所述基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法使用的路由机制, 所述路由机制采用固定路由的方式。

[0022] 本发明的另一目的在于提供一种应用所述基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法的通信卫星。

[0023] 本发明的优点及积极效果为:提出了一种基于GEO/LEO双层卫星网络模型。将地球同步卫星作为数据传输的中继卫星,实现了对LEO卫星中产生数据的实时传输,并针对多层卫星网络的数据传输,设计了一种路由机制,在该路由机制中,考虑了卫星网络的动态拓扑变化,实现了对接入卫星的实时更新与检测。对提出的网络模型进行了仿真,验证了网络模型在数据传输上的可靠性,并对多业务模式进行了仿真。针对卫星网络易受攻击的特点,以常见的饱和攻击为例,仿真了对卫星网络中关键通信节点进行攻击的情况,可以得到不同节点对网络性能影响的评估。本发明则基于GEO/LEO双层卫星网络,通过定期地更新LEO的接入GEO卫星来保证数据的实时传输。

附图说明

- [0024] 图1是本发明实施例提供的基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法流程图。
- [0025] 图2是本发明实施例提供的LEO卫星数据的传输选择示意图。
- [0026] 图3是本发明实施例提供的GEO卫星层中的数据传输示意图。
- [0027] 图4是本发明实施例提供的两种不同类型的数据产生速率示意图;
- [0028] 图中:(a)均匀产生速率;(b)泊松分布的产生速率。
- [0029] 图5是本发明实施例提供的卫星网络模型中的数据包吞吐率示意图。
- [0030] 图6是本发明实施例提供的卫星网络中的丢包率示意图。
- [0031] 图7是本发明实施例提供的卫星网络的传输时延示意图。
- [0032] 图8是本发明实施例提供的数据传输过程中的时延抖动示意图。
- [0033] 图9是本发明实施例提供的地面节点接受数据量变化示意图。
- [0034] 图10是本发明实施例提供的传输时延的变化示意图。
- [0035] 图11是本发明实施例提供的丢包率变化示意图。

具体实施方式

[0036] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0037] 下面结合附图对本发明的应用原理作详细的描述。

[0038] 如图1所示,本发明实施例提供的基于GEO/LEO卫星网络的数据传输方法包括以下步骤:

[0039] S101:GEO卫星定期地向外发送hello数据包,数据包中包含有GEO卫星节点的id以及其他字段;

[0040] S102:当LEO接收到GEO发送的hello数据包后,计算数据包在传输过程中的时延值,若LEO收到多个hello数据包,则比较不同GEO卫星节点发送数据包的传输时延,传输时延小,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较近;传输时延大,则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较远;

[0041] S103:当LEO卫星节点没有GEO接入卫星节点时,则通过同轨道卫星节点进行数据中继传输;传递过程中以跳数统计数据传输距离;

[0042] S104:当GEO卫星节点接收到LEO卫星传来的数据包,判断LEO卫星节点发送来的数

据包中的接入卫星字段:acc_geo是否为本卫星节点,若不是,则将数据包删除;若是,进入步骤S105;

[0043] S105:判断本卫星节点的id是否为3或4节点,若id_self=3或4,则将数据包向地面转发,若id_self=1,则将数据包传输向4节点,若id_self=2,则将数据传向3节点;

[0044] S106:地面站接受GEO传输的数据并进行相应的处理。

[0045] 下面结合附图对本发明的应用原理作进一步的描述:

[0046] 1网络模型

[0047] 1.1网络拓扑模型

[0048] 在本研究中采用GEO/LEO双层卫星网络模型,模型建立的意义是:LEO收集相应的地面数据,通过GEO卫星网络层进行实时传输,将数据传输到我国境内的地面站。在网络拓扑模型中,LEO卫星数量为11*2颗,采用两条低轨卫星轨道,每条卫星轨道上的卫星个数为11颗,GEO卫星则使用地球同步轨道卫星,数量为4颗。

[0049] 1.2业务传输模型

[0050] 在现实卫星网络体系中,卫星网络传输的业务类型是多种多样的,如:消息、文本、声音、图像以及视频等。不同业务类型的数据传输所要求的服务质量则有很大的不同,文本、消息则对传输的可靠性有很高的要求,对传输的实时性则要求不高,声音、视频则对数据传输的实时性要求很高。另外,不同类型业务的数据量也不相同。

[0051] 在卫星网络模型中,使用low、mid、high三种数据发送速率来模拟三种业务类型,进而反映系统对三种业务类型的处理能力。另外在卫星网络中将数据的产生速率分为均匀类型与符合泊松分布类型,均匀类型用来模拟LEO卫星用于数据收集时,在正常的环境下,每个固定时间段内产生的数据量;泊松分布类型则用于模拟LEO卫星节点产生数据量在有波动情况下,每个固定时间段内产生的数据包量。

[0052] 三种业务的产生速率如表1所示:

[0053] 表1数据业务类型

	业务类型	数据的产生速率(均匀) (Packet/s)	数据的产生速率(泊松分布) (Packet/s)
[0054]	Low	20	10
	mid	100	100
	high	200	200

[0055] 1.3卫星网络中的路由机制

[0056] (1) 卫星的传输选择

[0057] 在设计的卫星网络模型中,LEO卫星网络则主要负责信息数据的收集与发送,LEO数据的收集过程则以数据的产生进行模拟。当LEO卫星节点产生数据后,则有两种传输选择,当有接入GEO卫星时,向GEO卫星节点进行传输;没有GEO接入卫星,则向LEO卫星进行传输。如图2所示。

[0058] GEO层卫星网络卫星数量相对较为有限,因此采用固定路由的方式降低卫星网络的传输开销。固定的传输过程如图3所示。

[0059] 如图3所示,GEO卫星网络中的位置已经确定。卫星网络中路由的情况如图1所示,GE01的数据通过GE04进行中继传输,GE02的数据通过GE04进行中继传输,再由GE03和GE04

发网络地面站。

[0060] (2) 数据传输方法

[0061] Step1: GEO卫星定期地向外发送hello数据包, 数据包中包含有GEO卫星节点的id以及其他字段。

[0062] Step2: 当LEO接收到GEO发送的hello数据包后, 计算数据包在传输过程中的时延值, 若LEO收到多个hello数据包, 则比较不同GEO卫星节点发送数据包的传输时延, 传输时延小, 则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较近; 传输时延大, 则表明GEO卫星节点距LEO卫星节点较远。传输时延的计算公式如下所示:

[0063] $D_i = T_{\text{temp}} - T_{\text{creat}}(\text{pkt})$ (1)

[0064] D_i 为LEO卫星节点收到GEO卫星节点数据包的传输时延, GEO卫星节点的id为*i*, T_{temp} 为当前仿真时间, $T_{\text{creat}}(\text{pkt})$ 为数据包的创建时间。

[0065] 最小传输时延 D_{min} 的获取如下所示:

[0066] $D_{\text{min}} = \min \{D_i, D_j, \dots\}$ (2)

[0067] D 为选择传输时延最小的GEO卫星节点作为LEO卫星节点数据传输的接入节点。

[0068] Step3: 当LEO卫星节点没有GEO接入卫星节点时, 则通过同轨道卫星节点进行数据中继传输。传递过程中以跳数统计数据的传输距离。在传递的数据包中, 有跳数字段num_hop, 当数据包从源节点发送时, num_hop=0, 数据包每经过一个LEO节点, 判断该LEO卫星节点是否有GEO接入卫星, 若有GEO接入卫星, 则将数据包发往GEO卫星节点, 如没有GEO接入卫星, num_hop加1, 继续向同轨道卫星节点进行中继。当num_hop=3时, 依旧没有向GEO卫星节点进行数据传输, 则将数据包丢弃。

[0069] Step4: 当GEO卫星节点接收到LEO卫星传来的数据包。首先, 判断LEO卫星节点发送来的数据包中的接入卫星字段: acc_geo是否为本卫星节点, 若不是, 则将数据包删除; 若是, 进入步骤5。

[0070] Step5: 判断本卫星节点的id是否为3或4节点, 若id_self=3或4, 则将数据包向地面转发, 若id_self=1, 则将数据包传输向4节点, 若id_self=2, 则将数据传向3节点。

[0071] Step6: 地面站接受GEO传输的数据并进行相应的处理。

[0072] 通过以上步骤, 实现了将LEO卫星中收集的数据传输到地面站。然而由于卫星节点的移动性导致LEO卫星的接入GEO卫星经常发生变化。因此需要定期地进行网络拓扑结构更新。具体情况为: GEO卫星需要定期地向外发送hello数据包, LEO卫星中每隔相同时间更新一次相应的GEO接入卫星。

[0073] 下面结合仿真与性能分析对本发明的应用效果做详细的描述。

[0074] 1 仿真与性能分析

[0075] 1.1 网络性能评估指标

[0076] 在本研究中使用的GEO/LEO双层网络模型, 主要用于进行数据的收集与传输, 在网络模型中评价卫星网络的性能主要从吞吐量、时延、网络时延抖动和丢包率来进行评估。网络性能指标的定义如下:

[0077] (1) 数据吞吐率

[0078] 在本网络中使用的网络模型中, 数据包吞吐率主要用来衡量卫星网络传输能力。网络包吞吐率则为网络总接收量与网络发送量的比值, 即 $\sigma = \text{OUT} / \text{IN}$ 。其中OUT为网络接收

量,是单位时间内到达目的节点的数据包数,单位为packet/s(包/秒)。网络发送量是单位时间内源节点发送数据包的总和IN,单位packet/s。对整个或局部稳态网络来说,其输入和输出速率是相等的。

[0079] (2) 端到端时延

[0080] 在该研究中使用的网络时延是端到端的时延,即数据包从在源节点产生到在目的节点接收到。时延的计算如式(1)所示。在仿真中统计的时延则是每个数据收集点收到的数据是在过去一段时间内收到数据包单向时延的均值,而被丢弃数据包的时延没有考虑在内,因为丢包意味着时延无穷。

[0081] (3) 时延抖动

[0082] 数据包在整个网络中进行传输时,时延的变化情况。本文中时延抖动通过端到端时延计算所得,在某一时刻 T_i 的时延均值 D_i ,下一时刻 T_{i+1} 的时延均值 D_{i+1} 为,时延抖动为 $(D_{i+1}-D_i)/(T_{i+1}-T_i)$ 。

[0083] (4) 丢包率

[0084] 数据包在源节点产生,通过卫星网络进行传输,到达目的节点的数据包数目。丢包率用R表示,自然R越低就表示其丢包越少,其中z为丢失数据包数目,w为产生数据包总数:

[0085] $R=z/w$

[0086] 1.2网络攻击

[0087] 空间卫星网络由于位置相对公开,因此,容易受到外部的干扰与恶意攻击。在设计卫星网络模型中的,LEO卫星网络主要功能在于数据的收集,因此在LEO层中的卫星节点受到攻击并且失效对整个网络的性能影响不大。GEO卫星网络作为整个网络模型中数据传输的骨干网络,GEO卫星节点的性能对整个网络的性能影响相对较大。在仿真的过程中,对卫星节点的攻击主要集中于GEO卫星节点。

[0088] 网络攻击的指标则为饱和攻击。饱和攻击的功能,是针对于卫星节点来说,希望通过饱和攻击占用卫星节点的资源,是卫星节点处于不能工作的状态。通过将要发送数据包的进行复制,通过这样的方法来占用卫星节点的信道。使卫星节点的吞吐量增大,但是数据包基本为无效数据包。通过设置的饱和攻击强度(1/10/100/1000),使卫星节点创建的数据包被复制1(10/100/1000)个,将所有的数据包发往相应的节点。饱和强度越大,数据包数目更大,更能占用卫星节点的资源。

[0089] 1.3实验仿真

[0090] 1.3.1 22LEO+4GEO的双层卫星星座模型

[0091] 在STK软件中完成22LEO+4GEO双层卫星网络星座的搭建,星座具体参数如表2所示,其中22颗LEO卫星分布于两个轨道内,每个轨道上均匀分布于两颗卫星。此外设定每个LEO卫星都可作为数据包的发送的源节点,地面站作为数据包的目的节点,GEO卫星主要用于数据包中转。

[0092] 表2卫星星座参数

	卫星种类	轨道高度/km	轨道倾角/°	周期/min	星座分布类型
[0093]	LEO	765	86.4	100	Walker
	GEO	35800	0	1440	

[0094] 其中,GEO卫星的定点位置为:120°W、0°、100°E、140°E。

[0095] 1.3.2 OPNET仿真与结果分析

[0096] 在网络模型的设计中使用STK仿真软件进行卫星网络的运行模拟,并生成相应的轨道文件,在OPNET中导入的卫星节点轨道文件,建立整个卫星网络模型,使用OPNET网络仿真工具模拟卫星节点的内部数据处理过程。使用OPNET进行网络仿真的时间设置为5min, GEO卫星节点向外发送hello数据包的时间间隔为61s。

[0097] (1) 数据均匀分布的产生速率与符合泊松分布的产生速率

[0098] 通过上述图4中数据产生速率的对比,可以得到两种不同类型的数据产生速率都相对稳定,说明设计的卫星网络模型能够完成对数据收集的模拟功能。为简化统计仿真,在后续的实验统计中均以数据的均匀分布为例。

[0099] (2) 均匀产生速率下卫星网络性能指标

[0100] 在模型中,对网络进行吞吐率统计时,以LEO层卫星数据产生之和作为数据发送量,其中每个LEO卫星产生的数据为 TC_i ,数据包发送总量为 $TC_{total} = \sum_{i=1}^{22} TC_i$ 。卫星网络中数据包接收量以地面节点11所接收到的数据量作为统计值。网络中的吞吐率如图5所示。

[0101] 图5中数据包接收量与总发送量的比值比较接近,近乎为1,这说明LEO发送的数据包最终到达地面节点。在图中每个一段时间就会存在的吞吐率下降则是由于LEO卫星的GEO接入卫星定期更新导致。当LEO的更新其接入GEO卫星时,则整个卫星网络短时间内无法上传数据,使得卫星网络目的节点的数据接受量较少。

[0102] 从图6中可以看到卫星网络进行数据传输的整体丢包率相对较低,只有在LEO进行GEO接入卫星更新时数据包丢失率会变得很高。图7、图8显示卫星网络的时延和时延抖动在卫星网络中整体表现相对较为稳定,在LEO进行GEO接入卫星更新时会有较大的变化。

[0103] (3) 受到攻击时卫星网络性能的变化

[0104] 在设计的卫星网络模型中,GEO卫星网络担负着主要的通信任务,GEO卫星网络中的数据传输如图3所示。如图所示,根据GEO卫星网络中卫星节点功能的不同可以将节点分为两种类型,一种节点类型为边缘节点,主要用于LEO卫星的数据收集,如节点1、2,卫星节点将数据收集后,传向同层卫星节点;另一种节点类型为核心节点,功能有LEO卫星数据的收集、同层卫星节点传输数据的中继与对地数据的传输,如节点3、4。

[0105] 为准确得到不同类型的GEO卫星节点受到攻击时,网络中卫星网络中性能的下降情况。分别对GE01和GE03进行攻击,分析不同类型节点失效对网络的影响。由于在饱和攻击的情况下卫星网络中传输的数据量有较大变化,这时网络中吞吐率将会超过1,这时对其研究已没有价值。饱和攻击强度为10的情况下,卫星网络性能指标主要对地面节点的数据包接受量、丢包率与时延变化进行比较。如下图9、图10、图11所示。

[0106] 如图9所示,当卫星节点受到饱和攻击时,卫星网络中数据包发送量则会有一个较大的提高,GE03受到攻击时,网络中传输的数据包量比GE01受到攻击时更大。当受到攻击时,GE01的传输时延与正常情况下相差不大,GE03的传输时延有一定程度的减少,这是由于GE03的卫星网络受到饱和攻击时,饱和攻击产生数据包传输到地面节点降低了传输时延的平均值。如图11所示,卫星网络的丢包率都会增大,增大幅度相差不大,这表示受到饱和和攻击时,正确接受的数据包量都会受到较大影响。

[0107] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精

神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

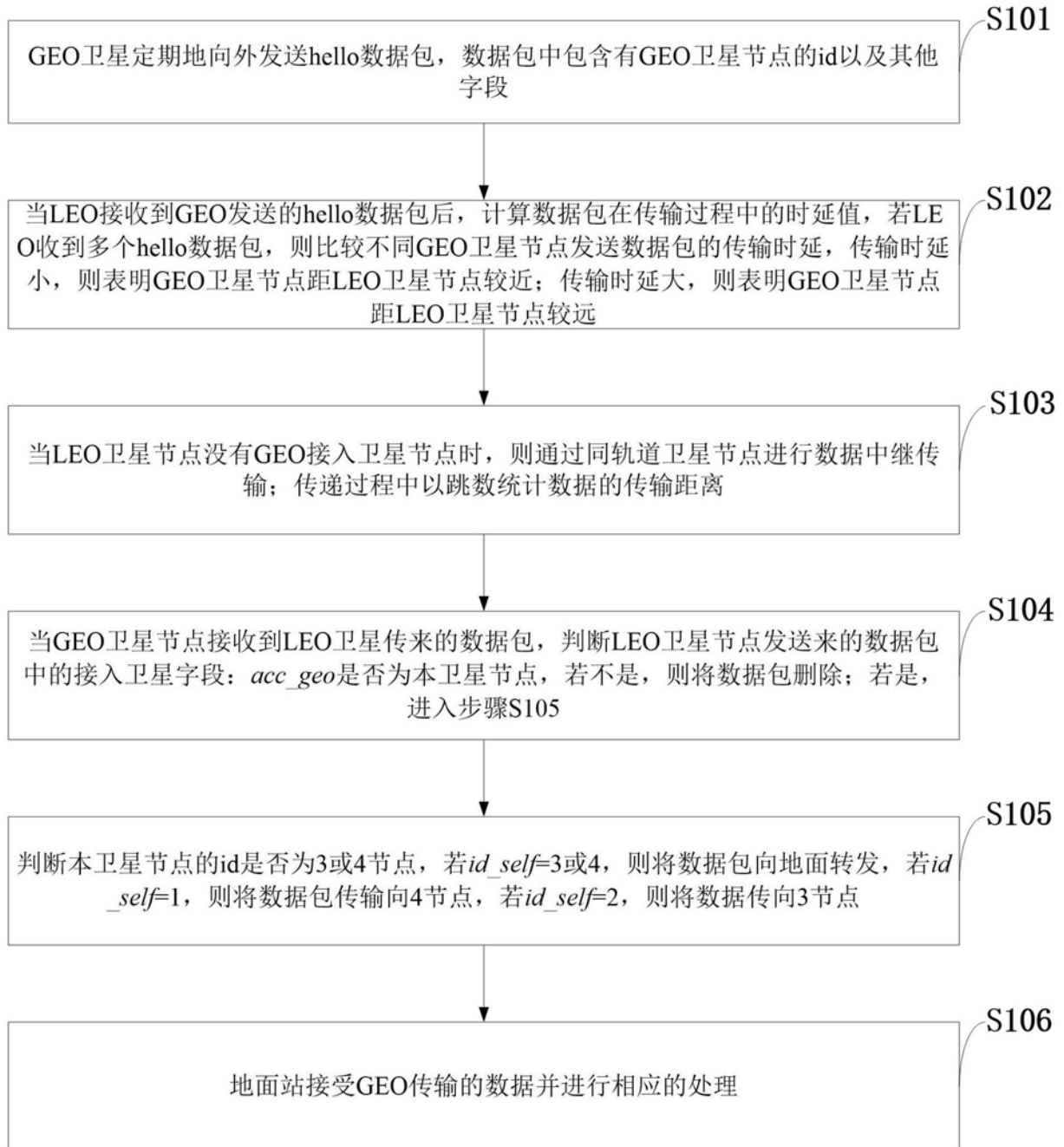


图1

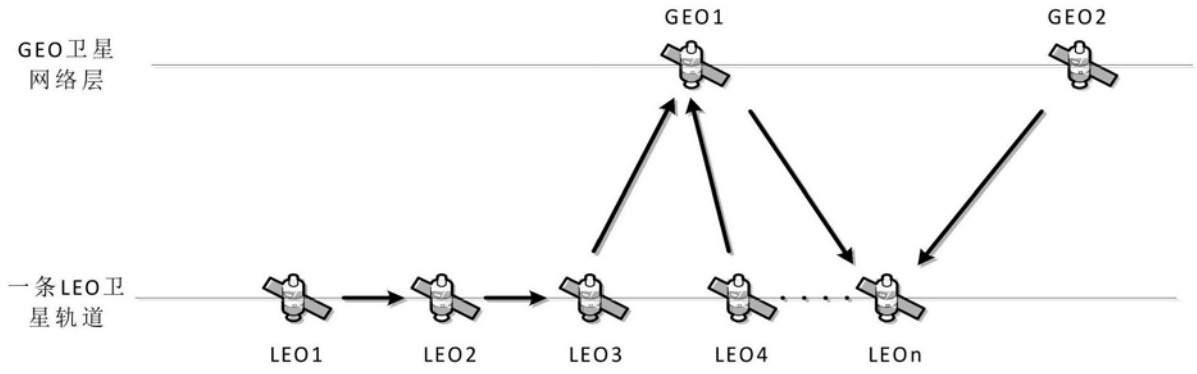


图2

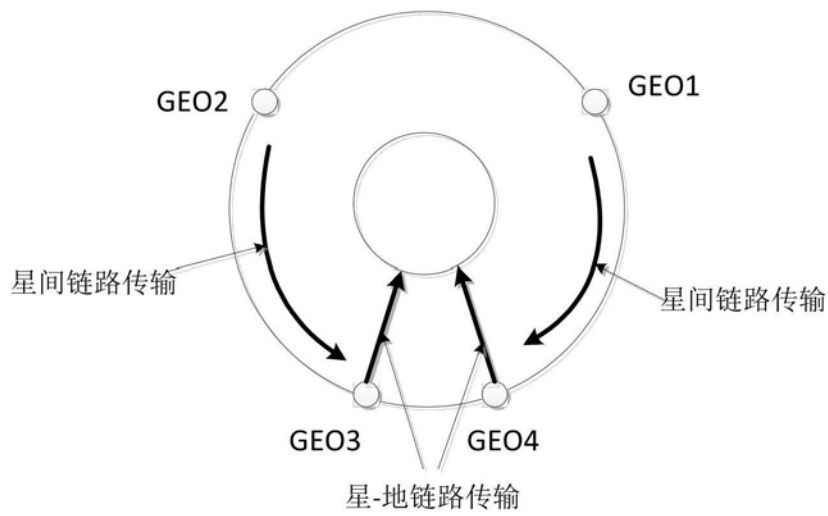


图3

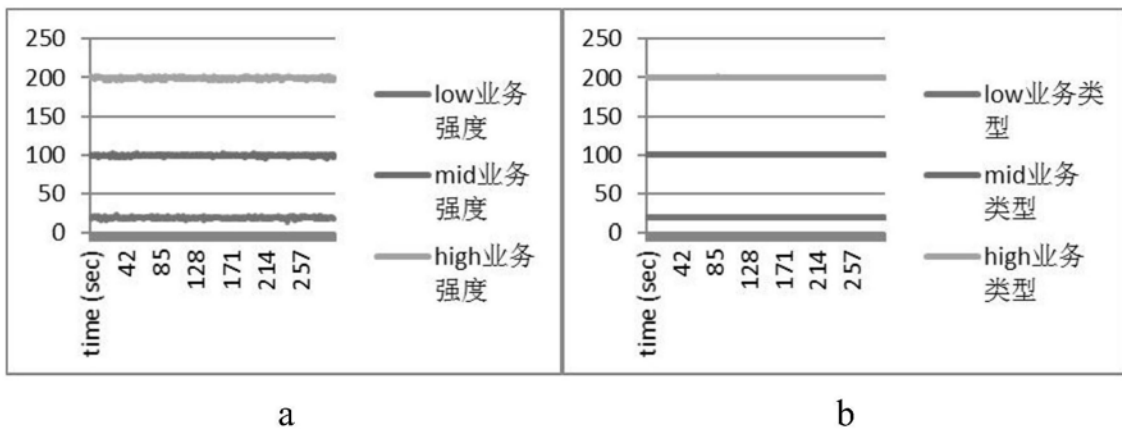


图4

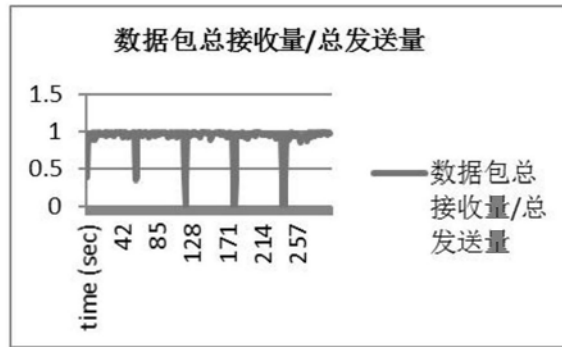


图5

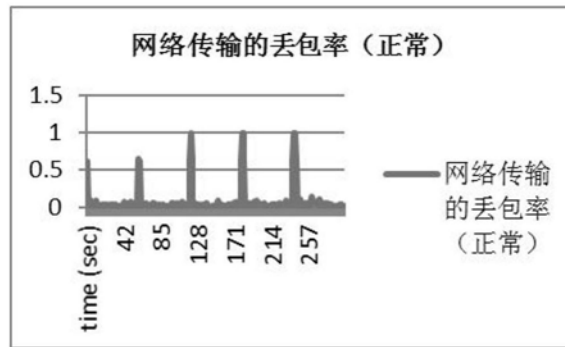


图6

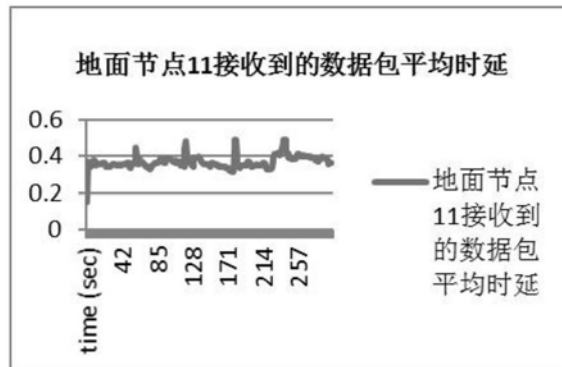


图7

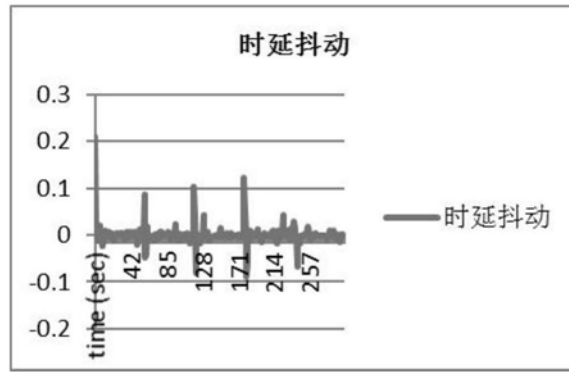


图8

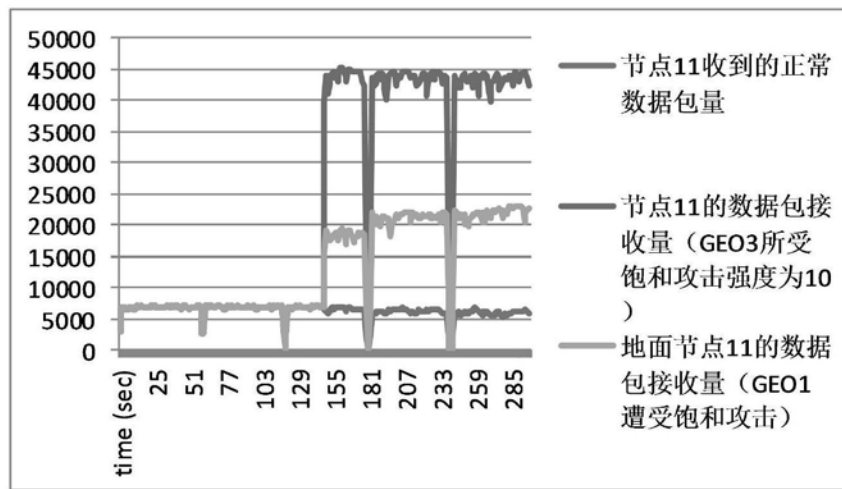


图9

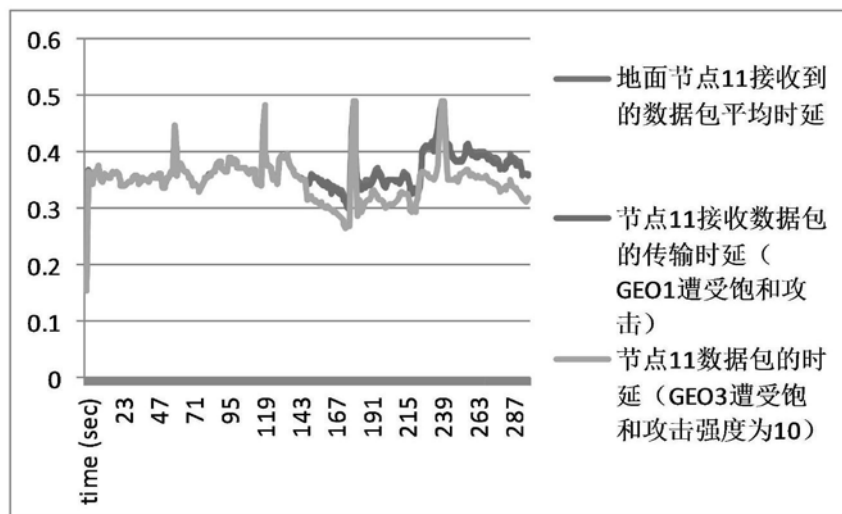


图10

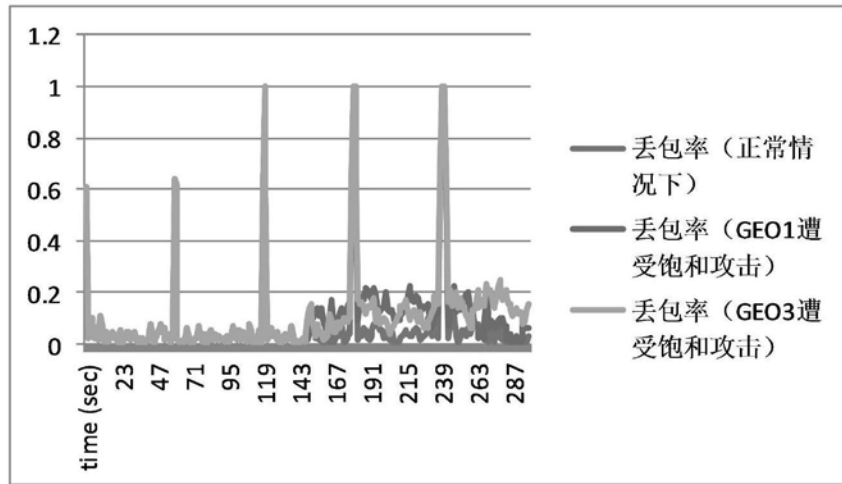


图11