

卫星通信副载波交换网络的一种资源分配策略*

丁俊章,王东进,刘发林,王国涛

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系,安徽合肥 230027)

摘要:分析了卫星通信副载波标记交换网络中网络对动态业务条件下非对称业务传输的适应问题,提出了一种副载波标记划分策略与资源分配算法。仿真结果表明,该分配算法对非对称业务传输具有一定的适应性。

关键词:副载波交换网络;非对称业务;副载波交换通道;资源分配

中图分类号:TN927.2 **文献标识码:**A

A subcarrier label assignment strategy in satellite subcarrier switching networks

DING Jun-zhang, WANG Dong-jin, LIU Fa-lin, WANG Guo-tao

(Department of Electronic Engineering and Information Science, USTC, Hefei 230027, China)

Abstract: With the constraint of subcarrier switching path, a subcarrier label assignment strategy in satellite subcarrier switching networks was proposed for unsymmetrical transmission. Simulation results show that the strategy can be adapted to unsymmetrical transmission to a certain extent.

Key words: subcarrier switching; unsymmetrical transmission; routing and assignment of subcarrier label

0 引言

本文研究背景特点是卫星网络接入用户信道数量较少,单路数据流量大(如 50Mbps)。卫星网络的构建要求数据流业务分布非对称特性强,这就要求路由器结构简单,质量轻、体积小,避免卫星节点对信号作复杂的处理,网络的可扩展性好。基于以上要求与卫星交换频分多址技术(SS-TDMA)^[1~4],我们提出卫星通信副载波交换网络的构建模型,即在具有星际链路的卫星通信网络中,路由节点以信息传输的副载波子信道为路由交换的标签,通过子信道载波交换实现信息路由与交换。副载波交换过程如图 1~3 所示。

数据流业务的非对称特性要求主要表现在两个方面:一是不同波束区接入的用户数量与数据流量分布范围大,要求单个小区能够占用星地链路全部业务信道资源。我们对传统的 SS-TDMA 信息交换器件做了一些改进,即在 SS-TDMA 交换器件的滤波器组前增加了微波二极管交换矩阵以协调各个波束区对信道的动态占用;二是不同信道传输的数据流量差异较大,一定通信带宽能容纳的用户信道数量是动态变化的,卫星交换器件的信道分路使用的滤波器数量是一定的,需要建立一种能适应用户信道数量动态变化的资源分配算法。

建立副载波交换通道是信息流传输与交换的基础,其建立必须满足下列限制条件:首先要求副载波

* 收稿日期:2004-09-06;修回日期:2005-09-22

基金项目:国家自然科学基金(60496314)资助。

作者简介:丁俊章,男,1975年生,博士。研究方向:卫星通信。E-mail:dingjzh@ustc.edu

通讯作者:刘发林,博士/教授。E-mail:liufl@ustc.edu.cn

标记在连接通道在其经过的所有链路上保持不变;其次是使用了相同链路的两个连接通道,必须分配频谱不重叠两个副载波标记;第三是星地链路的副载波标记分配必须满足副载波频率复用条件.与波长路由网络类似,副载波交换网络动态资源分配算法的性能判定根据是阻塞概率^[5],处理方法与算法^[6-9]都以降低网络阻塞概率为目标.对非对称业务传输,副载波标记交换通道的各卫星节点必须有适合使用的副载波分路器件,本文讨论副载波网络在非对称业务传输下的一种副载波资源分配策略.

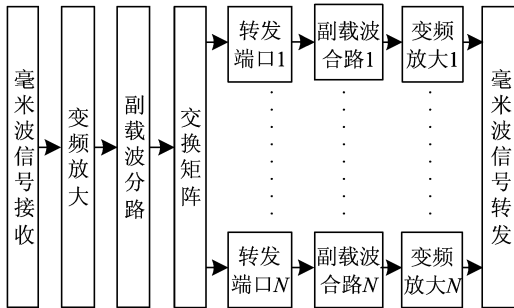


图 1 副载波信号处理与交换

Fig. 1 Subcarrier signal processing and switching

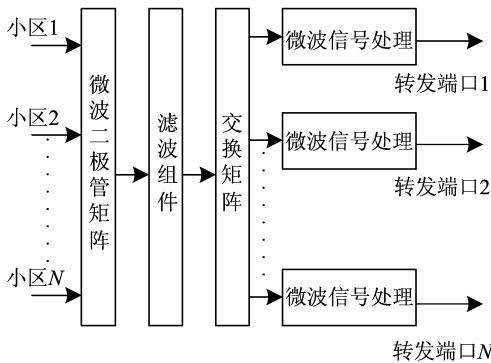


图 2 副载波交换网络上行链路接口副载波交换器件

Fig. 2 Subcarrier switching network uplink subcarrier switching instrument structure

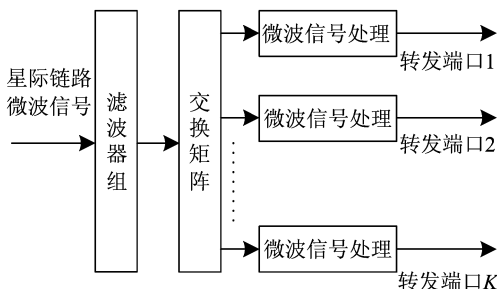


图 3 星际链路副载波信号处理与交换

Fig. 3 Inter-satellite links subcarrier signal processing and switching

1 传输带宽动态变化与接入用户信道数量

为适应数据流传输信息带宽的变化,副载波标签也应能随着接入申请的用户数量的变化在一定范围内变化.如果网络分配的副载波标记总数为 n 个,任意一个副载波标记对应的带宽为 B_i (包括保护带宽),网络总带宽为 B_0 ,则应满足约束条件

$$\sum_{i=1}^n B_i \leq B_0, \quad B_0 \sqrt{\bar{B}_i} = K \quad (1)$$

式中, K 是网络总带宽允许接入的总用户数. \bar{B}_i 是接入网络数据流的平均带宽, $\bar{B}_i = (\sum_{i=1}^n B_i)/n$.

接入网络用户数不仅与网络提供的总带宽有关,还与卫星副载波交换器件的使用状态有关.在动态业务条件下,保证任意一个卫星接收端口能接入 P 个用户数据流,则卫星任意一个接收端口的分路器件为 P 个滤波器,至多可以将接收的副载波信号分为 P 路.如果任意一个实际接收端口的副载波分路器件总数为 U ,则应满足限制条件 $U \leq P$.

任意卫星节点的一个接收端口的最大转发等价类的个数为 N ,如果任意一个转发等价需要的分路器件个数为 p_i ,则连接通道建立的器件限制条件为 $\sum_{i=1}^N p_i \leq P$;如果接入网络的数据流平均带宽 \bar{B}_i 较小,网络总带宽允许接入的总用户数 K 较大,则可以利用各个接收端口副载波标记的频域分布来增加接入网络的用户数,提高网络传输容量.这样,即使在信息流路由通过的某个接收端口的分路器件已全部被使用的情况下,该接收端口仍然可能接入某一转发等价类的副载波信号.

2 副载波标记划分策略

使用了相同链路的两个连接通道,必须分配频谱不重叠的两个副载波标记.副载波标记在频域上的重叠可以分为部分重叠与完全重叠.为了减少副载波标记频谱部分重叠造成的频谱资源使用受限,有必要将网络的副载波标记资源在整个网络上进行统一的划分.

假设网络允许接入带宽为 $A_0, A_1, A_2, \dots, A_i$ (包括保护频带),并且一个网络接入的带宽是带宽 A_0 的整数倍,即: $A_1 = k_1 A_0, A_2 = k_2 A_0, \dots, A_i = k_i A_0, A_0$ 是业务流传输的最小带宽.

副载波交换网络的副载波带宽为 B_0 , 以带宽 A_0 (包括保护频带) 作为最小的副载波标记带宽将卫星网络的副载波资源统一划分为 B_0/A_0 个副载波标记. 如果用户请求一个带宽为 A_i 的副载波标记, 则将 k_i 个连续的带宽为 A_0 的副载波标记分配给该用户使用.

3 副载波标记分配策略

在副载波标记交换网络中, 连接请求阻塞的原因大致可以分为两类: 一类是因为没有满足限制条件, 因而不能建立副载波交换通道; 另一类是虽然有满足限制条件的副载波标记可以使用, 但是由于受到卫星节点分路器件的使用限制, 卫星节点载波交换器件无法实现副载波的分路与其交换. 当接入网络数据流的平均带宽 \bar{B}_i 较小, 而申请接入网络的总用户数 K 比较大时, 则后一类限制带来的网络阻塞概率影响也比较大.

3.1 副载波标记分配策略

一个连接请求到达网络, 网络允许的路径集合为 $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4, \dots\}$, 总的副载波标记资源为 $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, \dots\}$. 在任意一条路径上找不到一条合适的副载波标记以满足连接通道建立限制条件; 或者虽然找到满足限制条件的副载波通道, 但所有路径上任意一个卫星节点的载波交换器件不满足载波交换要求, 该连接请求将被拒绝.

一个连接请求到达网络, 在任意一条路径 L_i 上满足连接通道建立限制条件的副载波标记集合记为 $(f_1, f_2, f_3, \dots, f_j)$. 在路径 L_i 上建立副载波标记为 f_j 的副载波交换通道时, 所有卫星接收端口使用的分路器件的数量增加 p_{ij} 个, 则建立该副载波标记交换通道建立时需要的分路器件数量为 p_{ij} . 取 p_{ij} 为建立该连接通道的权值, 建立需要分路器件最小的副载波交换通道. 即在所有建立满足条件的副载波交换通道中, 选择建立需要分路器件 p_{ij} 最小的连接通道, 表示为

$$\text{VAL}(i, j) = p_{ij} \quad (2)$$

3.2 副载波资源分配算法

(I) 副载波标记分配算法

在不允许载波矩阵状态重构的情况下, 考虑到滤波器性能, 规定每个分路器件最多可以同时通过两路频率相邻的副载波. 计算连接通道建立 L_i 所需要的副载波分路器件总的增量为 p_i , 选择 p_i 值最小时对应的连接通道.

(II) 允许重构的副载波分配算法

允许副载波交换矩阵状态重构, 并且接收端口的分路器件允许通过的副载波信号数量不加限制, 在这种理想的情况下, 讨论副载波交换网络对非对称业务的自适应性.

(III) 副载波交换通道建立权值

与波长路由网络类似^[5], 由副载波通道建立的限制条件——副载波标记连接通道在其经过的所有链路上保持不变, 可以使用分层模型来描述副载波交换通道建立. 每个分层对应着同一个副载波标记的使用状态, 则副载波交换通道只能在某一分层建立.

定义第 I 分层任意一条链路状态对应的状态值为

$$\delta_I(L_j) = \begin{cases} 1, & \text{第 } I \text{ 分层链路 } j \text{ 资源处于空闲状态} \\ \infty, & \text{第 } I \text{ 分层链路 } j \text{ 资源已被利用} \end{cases} \quad (3)$$

路径 P 上的链路为 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_j$, 则在第 I 分层该路径的限制条件参数 $\delta_I(p) = \prod_{j \in P} \delta_I(L_j)$. 如果 $\delta_I(p) = 1$, 则该路径在第 I 分层的连接通道可以建立; 否则, 第 I 分层该路径上的连接通道不满足限制条件.

在路径 L_i 上建立副载波标记为 f_i 的交换通道时, 所有卫星接收端口需要的分路器件数量增量为 p_{ij} . 如果副载波交换通道上任何一个接收端口的分路器件无法完成分路任务, 则此时权值 $p_{ij} = \infty$. 定义第 I 分层一个副载波交换通道建立的权值为

$$\text{VAL}_I(p) = \delta_I(p) \cdot p_{ij} \quad (4)$$

当连接请求到达网络时, 在可用的连接通道中选择某一分层代价最小的连接通道分配给该连接请求; 如果所有分层副载波交换通道权值为 ∞ , 即可用连接通道都无法满足限制条件, 则拒绝该连接请求.

3.3 副载波标记分配算法仿真模型

卫星网络共有 M 个轨道, 每个轨道有 N 颗卫星, 每颗卫星节点与同一轨道上相邻的两个卫星节点以及相邻轨道上的两颗卫星节点具有星际链路. 网络副载波频率标记资源分布如下: 每条星际链路可以使用所有的副载波频率标记, 副载波频率标记在每颗卫星节点的上、下行链路, 仅能复用 1 次, 并且将整个波束区作为一个整体. 我们在图 4 所示的拓扑结构中对星地链路-星际链路-星地链路的连接通道建立的阻塞概率进行了仿真.

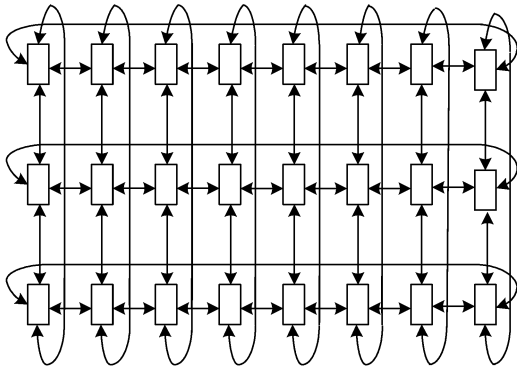


图 4 卫星通信网络拓扑

Fig. 4 Satellite communication network topology

3.4 仿真结果

仿真时,连接建立请求按参数为 λ 的泊松过程到达网络,连接通道建立后的服务时间服从均值为 $1/\mu$ 的负指数分布,全网的总负载为 λ/μ . 连接建立请求无等待队列,即连接请求被拒绝,立即被丢弃.

(I) 动态分配算法仿真

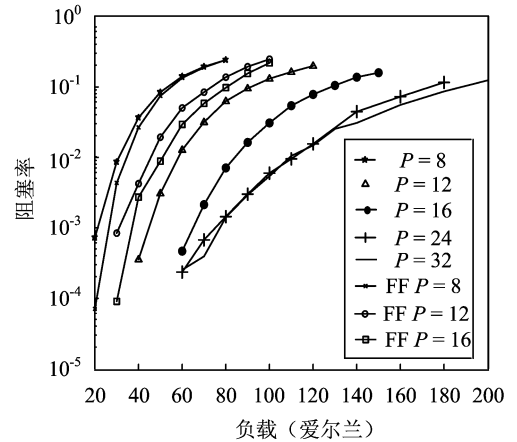
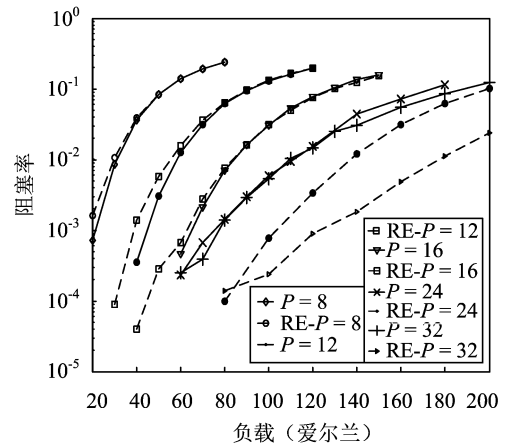
规定任意一个滤波器只能同时通过两路相邻频率的副载波信号. N 表示卫星每个接收节点的滤波器数量, P 表示当前可用的副载波数量. 当 $N=8$ 时,仿真 P 值变化的网络阻塞概率. FF 指 first-fits 算法下网络阻塞概率. 通过预先定义一个副载波搜索顺序,在为新的连接请求建立连接通道分配副载波标记时,算法按这个顺序进行副载波标记搜索,并分配第一个被找到的空闲副载波标记. 在 FF 算法中,每个滤波器只分路出一路副载波信号.

从图 5 的仿真结果可以看到,当滤波器数量一定,副载波数量在一定范围内变化时,网络阻塞概率也随之变化. 当副载波数量 P 取值为 $P > N$ 时,网络阻塞概率要小于载波数量相同的 FF 算法. 规定每个滤波器只能同时通过两路副载波信号,当 $8 < P < 24$ 时,相同网络负载下连接请求阻塞概率随 P 变化的范围较大;当 $P > 24$ 时,阻塞概率随 P 变化的范围较小. 图 5 中,当 $P=24, 32$ 时,相同网络负载下连接请求阻塞概率相差不大,此时,连接请求的阻塞主要受限于分路器件的数量与使用.

(II) 理想副载波分路的动态仿真结果

每个滤波器通过的载波数量不加限制,即所有相同转发端口的副载波信号,只要其副载波频率之间没有其他转发端口的副载波信号,就可以通过同一个滤波器实现分路. 图 6 是理想状态的副载波分

路与滤波器只能同时通过两路相邻频率的副载波信号的仿真结果比较图. RE- P 表示在滤波器通过副载波数量不加限制时的连接请求阻塞概率.

图 5 $N=8$ 时网络阻塞概率Fig. 5 $N=8$, network blocking probability图 6 $N=8$ 时网络阻塞概率比较Fig. 6 $N=8$, blocking probability under reconstruction

(III) 网络传输归一化容量

卫星通信网络的业务信道总带宽为 B_0 Hz, $B_0 = N_0 A_0$, 任意两个信道之间需要一定的保护带宽为 ΔB Hz, 则按照副载波标记划分策略, 相应的网络接入信道带宽分别为: $A_0 - \Delta B, A_1 - \Delta B, A_2 - \Delta B, \dots, A_i - \Delta B$. 每赫兹调制比特数为 H , 对应每条带宽为 $B(N)$ 的信道可以传输的容量为 $C(k_i) = H(k_i A_0 - \Delta B)$, 则 $C(N_0)$ 是每条链路信道所能传输的最大容量.

假设信道带宽 $C(k_i)$ 的连接请求到达概率为 $\rho(k_i)$, 被阻塞的概率为 $n(k_i)$, 则网络动态传输容量

为 $C(d) = \sum_{i=1}^{N_0} C(k_i) \rho(k_i) [1 - n(k_i)]$. 卫星网络最

大传输容量为 $C(\max) = B \cdot M \cdot C(N_0)$,其中, M 为卫星数量, B 为常数.则网络传输归一化容量为 $\eta = C(d)/C(\max)$,即为链路资源平均使用效率.

设 $k_i \in [1, 32]$,不同带宽的连接请求随机到达,在不同的网络负载与算法下仿真网络归一化容量(令常数 $B=1$),如图7所示.FF表示通常使用的first-fits算法,MIN表示本文提出的算法.

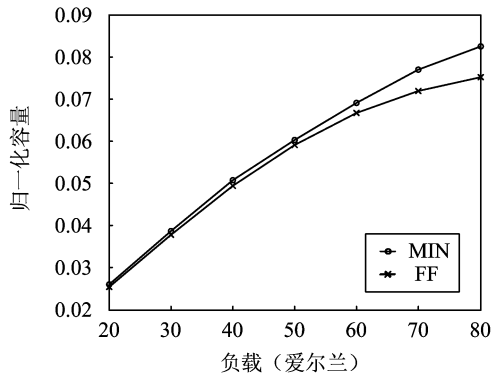


图7 $N=8$ 时卫星网络归一化容量

Fig. 7 Satellite network normalized capability, $N=8$

4 结论

卫星通信副载波交换网络,在非对称业务情况下,当接入信道数量随着信号带宽的变化而变化时,连接请求的阻塞概率与副载波分路器件的分配使用有关,因而提出了适用于非对称业务的一种副载波标记划分的策略与资源分配策略.仿真结果表明,该资源分配算法降低网络连接请求的阻塞概率,提高了网络动态传输容量.

从副载波标记划分策略来说,非对称业务连接请求的阻塞概率与该副载波标记组合成各种数据带宽的能力及其网络通连性能也有着很大的关系,我

们正在进行进一步的研究.

参考文献(References)

- [1] 张更新,张杭,等.卫星移动通信系统[M].北京:人民邮电出版社,2001.
- [2] Spilker J J, et al. Digital Communications by Satellite [M]. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1977.
- [3] Hideyuki Shinonaga, Yasuhiko Ito. L-band bandwidth saw filter matrix [C] // ICC 89, World Prosperity Through Communications, 1989, (s): 1 255 -1 262.
- [4] Hideyuki Shinonaga, Yasuhiko Ito. SS/FDMA router for flexible satellite communication networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1992, 10(2): 391-400.
- [5] Thomas E. Stern, Krishna Bata. 多波长光网络[M]. 徐荣,龚倩,译.北京:人民邮电出版社,2001.
- [6] XU Shi-zhong, WANG Sheng, LI Le-min. Routing and assignment of wavelength in DWDM optical transport networks [J]. Journal of China Institute of Communications, 2001, 22(4): 51-57.
徐世中,王晟,李乐民, DWDM光传送网中选路与波长分配[J]. 通信学报, 2001, 22(4): 51-57.
- [7] Subramaniam S, Barry R A. Wavelength assignment in fixed routing WDM networks [C] // ICC, 1997, (1): 8-12.
- [8] Banerjee D, Mukherjee B. A practical approach for routing and wavelength assignment in large wavelength-routed optical networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996, (14): 903-908.
- [9] Chien Chen, Banerjee S. A new model for optimal routing and wavelength assignment in wavelength division multiplexed optical networks [C] // INFOCOM '96, 1: 164-171.