

# 信息化跨区域网络时延最小化资源分配方法研究

钱峰

(黄山学院网络与信息管理中心,安徽黄山245041)

**摘要:**为提升资源分配均衡性及网络传输实时性,提出信息化跨区域网络时延最小化资源分配方法。

基于信息化跨区域网络模型特点及传输时延问题,以信息化跨区域网络不同类别资源均衡分配、网络总时延最小化为目标,以各跨区域网络资源分配总权重等于1为约束条件,构建信息化跨区域网络时延最小化资源均衡分配模型。结合贝克曼变化思想求解构建模型,通过网络资源的分流转化,获取资源均衡分配并且总时延最小的资源分配结果。实验结果表明:该方法可以更好地分配信息化跨区域网络资源,避免信息传输时出现丢包问题和网络拥塞问题;资源分配后降低了信息传输的时延抖动、本地传输和跨区域传输时延,提升了信息传输效果。

**关键词:**信息化网络;跨区域网络;资源分配;最小时延;时延抖动;网络时延

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1673-1670(2023)05-0055-06

## 0 引言

信息化网络使得各区域间资源链条缩短,跨区域信息资源共享成为信息化网络必然的趋势<sup>[1-2]</sup>。

随着信息化跨区域网络不断发展,跨区域资源分配过程中存在的时延问题影响着资源分配的实时性与准确性<sup>[3]</sup>,如何更好地分配跨区域资源,减少资源分配过程中出现的时延成为众多研究人员关注的方向。

叶迎晖等基于无线供能移动边缘计算,提出一种时延最小的资源分配方法,以节点能量因果为约束,以工作时长、分割系数、计算频率与发射功率为基础构建计算时延最小下的资源分配模型,并以二分迭代算法求出最优资源分配结果<sup>[4]</sup>。张航等在多用户无线供能背景下设计出新型计算方法用于减小任务处理时延,在一对一用户情况下将交替优化与匈牙利算法相结合求得资源分配最小时延;在一对多用户情况下提出改进贪婪算法求得资源分配最小时延,保障用户端时延需求<sup>[5]</sup>。但前者资源分配后各信息化区域之间的资源分配不均衡,后者在进行一对多用户资源分配时的时延降低效果不显著,两者在跨区域传输方面均存在一定局限性。

为了更好地实现跨区域网络资源分配,减少时

延,笔者提出信息化跨区域网络资源分配方法。以总时延最小及资源均衡分配为目标,构建跨区域信息化网络资源分配目标函数,获取最佳信息化跨区域网络资源分配结果。

## 1 信息化跨区域网络资源分配

### 1.1 信息化跨区域网络模型

信息化跨区域网络系统由一个全区域总基站和多个跨区域网络构成。把总基站中的资源分成 $Y$ 个资源包; $N$ 个跨区域用户记为 $T_n = \{i, j, \dots, N\}$ ,每个跨区域网络中包含发送端和接收端各一个。规定多个跨区域网络发送端可以复用多个跨区域网络接收端进行资源分配。通过泊松分布该信息化跨区域网络中总体用户地理位置,并获取总体用户位置信息。为简化模型,只考虑自由空间路径损耗,跨区域信息化网络资源传输模型如图1所示。

图1中, $T_N = \{T_i, T_j, \dots, T_n\}$ 表示总基站可以接入的跨区域网络集合, $Y$ 表示 $T_N$ 中资源被划分的资源包数量; $p_k$ 表示多个跨区域网络发送端与单个跨区域网络的接收端资源分配时产生的时延; $g_k$ 表示基站发送端与各跨区域网络接收端之间的时延。由此可看出多个跨区域用户间资源分配中,相比一对一资源分配情况,多对多的资源分配可以

提高信息网络系统资源传输利用率,但同时会带来时延问题.不同信息干扰下会导致不同分配速率,造成跨区域信息化网络资源分配速率差别<sup>[6-7]</sup>.

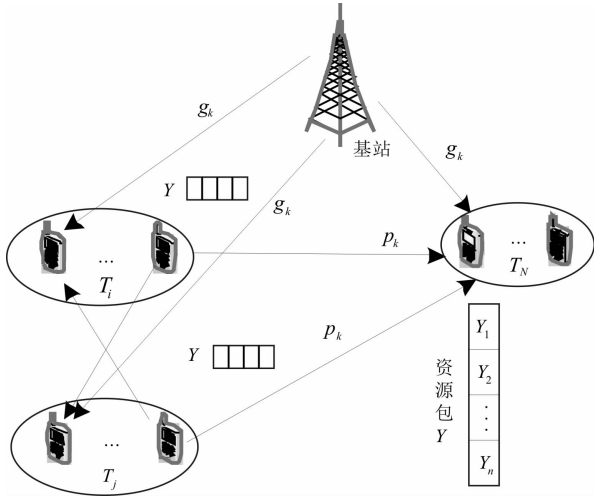


图1 跨区域信息化网络资源传输模型

在跨区域网络中,若不考虑网络间资源分配速率差别,在不同网络速率下运用相同分流策略与流量控制就会造成以下问题:当运用较低传输速率时,易造成资源传输网络拥塞;运用较高传输速率时,易造成无法充分利用高传输速率进行资源分配,导致能源损耗问题<sup>[8-9]</sup>.并且在较低资源分配速率时,在网络拥塞情况下系统会依据接收端资源分组时间顺序进行调整.在网络资源分配速率不同时,数据到达接收端顺序也不同,会造成不同程度资源包丢失及时延增加等问题<sup>[10-11]</sup>.为了更好地完成信息化跨区域网络资源分配,优化时延,笔者以最小时延为研究方向,构建资源分配模型,做到信息化跨区域网络资源均衡分配.

### 1.2 时延最小化资源均衡分配模型构建

信息化跨区域网络资源分配对时延要求相对较高,同时分配后网络资源的均衡程度也是衡量资源分配效果的一项因素,因此以资源均衡分配为前提,进行信息化跨区域网络时延最小化资源分配.具体过程如下:

跨区域网络资源分配过程中信息增益

$$I(Y_1, \dots, Y_u) = - \sum_{i=1}^u p_i \ln(p_i). \quad (1)$$

式中, $u$  表示资源类别标签, $Y_u$  表示不同类别的资源中  $u$  的个数, $p_i$  表示资源  $i$  的概率, $b(p_i)$  表示不同类别资源中  $p_i$  的增益系数, $l$  表示跨区域网络资源分配长度.

$D$  类别资源的类别熵值

$$E(D) = - \sum_{j=1}^v \frac{Y_j}{Y} I(Y_j). \quad (2)$$

式中,类别资源  $D$  中包含  $v$  个不同值  $\{d_1, \dots, d_v\}$ ,那么类别资源  $D$  可把  $Y$  分为  $v$  个子集  $\{Y_1, \dots, Y_v\}$ ,每个子集在  $D$  上的值为  $d_j$ .不同类别资源第  $j$  个类别可以用  $Y_j/Y$  表示, $I(Y_j)$  表示不同类别资源子集  $Y_j$  的期望资源信息类别的熵值.不同类别资源子集  $Y_j$  中类别  $C_i$  的资源数量可以用  $Y_{ij}$  表示,那么不同类别子集  $Y_j$  的期望信息

$$I(Y_j) = - \sum_{i=1}^u p_{ij} \ln(p_{ij}). \quad (3)$$

式中, $p_{ij}$  表示不同类别资源  $Y_j$  中资源类别  $C_i$  的概率.不同资源类别  $D$  中分支信息增益可表示为

$$G(D) = I(Y_j) - E(D). \quad (4)$$

计算出不同类别资源的信息增益熵值,根据熵值大小排序,选出不同类别资源分配均衡属性.从不同类别资源  $Y$  集合选取  $D$  类别资源集,再从中选出资源均衡分配类别集  $D^*$ ,可表示为

$$D^* = \varphi(Y). \quad (5)$$

式中, $\varphi(Y)$  既是不同类别资源分配依据,也是构建资源均衡分配模型的基础.依照资源集  $D^*$  创造信息化跨区域网络三维映射空间  $D^* \rightarrow \Omega_{xyz}$ .在  $p_i(x, y, z) \in \Omega_{xyz}$  条件中描述某个类别资源在坐标为  $x, y, z$  的信息化跨区域网络三维空间中某个映射点,映射空间  $\Omega_{xyz}$  中,以不同类别资源合成规则为前提,创造不同类别资源均衡分配模型:

$$u = \varphi[p_i(x, y, z)]. \quad (6)$$

以上述资源均衡分配模型为前提,构建信息化跨区域网络时延最小化资源均衡分配模型.

时延指某数据在若干网络中进行端到端的传输需要的时间<sup>[12-13]</sup>,主要分为传输时延、网络时延、到达时延和时延抖动.传输时延是指用户在收发某个数据时需要的时间<sup>[14]</sup>;网络时延是指数据在网络中传输需要的时间,可分为节点时延与端到端时延两种类型;到达时延是指数据在输入与输出缓冲区排队花费的时间,与网络拥塞状况、队列调度机制相关,到达时延由传输时延与网络时延相加得出;时延抖动是指跨区域信息化网络传输系统中,资源数据通过各信息化网络传输时造成的时延差异<sup>[15]</sup>.

依据以上时延定义可知,资源分配通过跨区域

网络传输至接收端网络间总时延 = 各信息化网络资源的到达时延 + 时延抖动;系统分配给第  $i$  个跨区域网络资源权重为  $w_i$ , 其中  $w_i \geq 0$ , 把分配资源权重  $w_i > 0$  的跨区域网络集合记为  $P_N$ , 并且  $P_N \subseteq T_N$ ; 总时延为  $M$ 、到达时延为  $m$ 、时延抖动为  $F_N$ , 则总时延可表示为

$$M = \max_{T_N} \{m_i\} + F_N = \max_{T_N} |m_i - m_j| + \max_{P_N, i \neq j} |m_i - m_j|. \quad (7)$$

由式(7) 可看出,减少跨区域信息化网络资源分配总时延的重点是减小各信息化网络资源到达时延,并降低各信息化网络资源到达时延引发的时延抖动。

为此,笔者以总时延最小化为目标,结合式(6) 所示的资源均衡分配模型构建时延最小化资源均衡分配模型,表达式如下:

$$\left. \begin{aligned} &u = \varphi[p_i(x, y, z)], \\ &\min(M), \\ &s. t. \sum_{i=1}^N w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

### 1.3 模型求解

笔者依据贝克曼变换思想完成上述构建的时延最小化资源均衡分配模型求解,贝克曼变换将网络资源分配的时延最小以及资源均衡分配为目的,通过对资源分流转化,达到资源分配均衡的同时使网络传输时延最小化的目的. 贝克曼变换思想中代价函数是关于资源分配的凸函数,根据此法可求解网络资源分配最佳结果。

为了方便计算,假设每个资源包大小为  $A$ , 分配过程需要的开销为  $L$ , 分配资源为  $H_i$ , 传输速率为  $V_i$ , 传输时延为  $P_i$ , 网络时延为  $Q_i$ . 由于时延  $m_i$  随着分配资源  $H_i$  单调递增,因此在下文资源分配模型求解过程中令  $H = Y(A + L)$ ,  $H_i = Hw_i$ . 式(8) 可视为信息化跨区域网络资源分配中资源均衡分配以及时延最小化的约束线性凸规划问题. 因为网络可传输域中  $m_i = m_i/H_i = 1/V_i(m_i \neq 0)$ , 所以最小时延将在网络可传输域边界或顶点中得出。

假定跨区域信息网络中由两个不同区域网络  $Q_1, Q_2$  组成,式(8) 资源分配模型最优解可整理为如下两种情况。

情况1 终端可以接入两个跨区域网络集合,

假设网络时延满足  $Q_1 \leq Q_2$  时,则最优分配资源  $\{H'_1, H'_2\}$  和最小总时延  $M'$  可分为以下几种情况。

1) 当  $H \leq V_1(Q_2 - Q_1)$  时,则最小总时延

$$M' = \frac{H}{V_1 + Q_1}. \quad (9)$$

最优分配资源为

$$\{H'_1, H'_2\} = \{H, 0\}. \quad (10)$$

2) 当  $H > V_1(Q_2 - Q_1)$  时,则最小时延

$$M' = \frac{(H + Q_1 V_1 + Q_2 V_2)}{(V_1 + V_2)}. \quad (11)$$

最优分配资源为

$$H'_i = \frac{V_i [H + V_{3-i} (Q_{3-i} - Q_i)]}{(V_1 + V_2) [H + V_{3-i} (Q_{3-i} - Q_i)]}, \quad i = 1, 2. \quad (12)$$

3) 当  $Q_1 = Q_2 = Q$  时,则最小时延

$$M' = \frac{H}{(V_1 + V_2)} + Q. \quad (13)$$

最优分配资源为

$$H'_i = \frac{H V_i}{H(V_1 + V_2)}. \quad (14)$$

上述情况证明,两个网络资源到达时延随分配资源  $H_i$  增加而上升,如果两条曲线相交,则在交点处可得到最优  $H'_1$  和最小到达时延  $m'_1$ 。

从情况1 可以看出,当两个网络时延不同时,最优资源分配并不是同时选择两个网络进行分配,而是根据资源负载与网络时延和网络可利用资源分配速率大小选择单个网络进行分配. 当两个网络时延相同时,可视作将两个网络合并成单个网络,其合并速率  $V = V_1 + V_2$ 。

当终端可以接入的跨区域网络集合为  $N$  个网络时,可将情况1 扩展得出情况2。

情况2 设  $N$  个跨区域网络为  $Q_1 < Q_2 < \dots < Q_N$ , 当  $H \leq \sum_{i=1}^N V_i(Q_n - Q_i)$  时,令  $H_N = 0$ . 在第  $N$  个网络中不分配资源,即不选择网络  $N$ ,需要重新在  $N - 1$  个网络中判断上式是否符合  $H > \sum_{i=1}^N V_i(Q_N - Q_i)$ , 具体资源分配公式为

$$H_i = \frac{V_i [H + \sum_{j=1}^N V_j (Q_j - Q_i)]}{\sum_{i=1}^N V_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (15)$$



此时最小时延

$$M' = \frac{H + \sum_{j=1}^N Q_j V_j}{\sum_{i=1}^N V_i} \quad (16)$$

综上,利用贝 克曼变换思想获取网络时延小、资源分配均衡的信息化跨区域网络资源分配结果.

### 2 实验分析

某重工业集团有限公司有南北两个厂区. 该公司成立于 2009 年,公司一直使用企业初期构建的资源传输系统,随着时代发展与公司规模日渐壮大,原有的资源传输系统存在跨区域办公传输速率低、传输成本高、运营效能过低等突出问题,一直制约着企业管理提升. 为此采用本文方法对该公司跨区域网络资源进行分配,提升跨区域信息传输速率,做到全时、全域协同办公,向跨区域办公信息化建设迈出坚实一步.

该公司在不同地区网络中都包含 1 个全覆盖宏基站及 4 个小基站. 宏基站覆盖范围分为 2 个扇区,每个扇区内随机均匀分布 2 个小基站.

笔者以该企业 A 地宏基站与 B 地宏基站间跨区域传输为实验对象,设置 1 200 个资源分配包进行资源分配均衡性实验. 理论上每条路径的资源分配量越平均,说明资源分配越均衡,可避免网络拥塞及数据丢包问题. 表 1 为该企业原有网络传输路径资源分配情况,应用本文方法对该企业资源进行分配,具体数据情况如表 2 所示.

表 1 原有资源分配情况

路径	实际资源分配量/个	平均资源分配量/个
1	135	400
2	689	400
3	372	400

表 2 本文方法应用后资源分配情况

路径	实际资源分配量/个	平均资源分配量/个
1	403	400
2	395	400
3	402	400

由表 1、表 2 可看出,该企业原有的 A 地宏基站与 B 地宏基站间跨区域传输 3 条路径资源分配明显不均,且存在资源包丢失情况. 应用本文方法后,这 3 条路径资源分配情况为均匀分布,且不存

在丢包情况. 说明本文方法可以合理地对资源进行均衡分配,同时避免资源分配时产生拥塞与丢包问题.

设定企业网络传输时延小于 250 ms 即为网络传输性能较优,该实验通过累积分布函数评估本文方法应用后该企业传输时延,累积分布函数数据点在某个区间内数值越大表示系统传输时延越小. 考虑到以资源分配量为区间进行测试时,时延统计数据较多,为了保证测试精准性,笔者调节分配资源总量  $H_i$  与均分后资源包数量  $Y$  变化,其中资源包数量  $Y$  等于分配资源总量  $H_i$  除以资源分配量. 以通信总时延小于 250 ms 为验证条件,验证本文方法应用后不同参数情况下该企业跨区域网络时延情况,具体结果如图 2 所示.

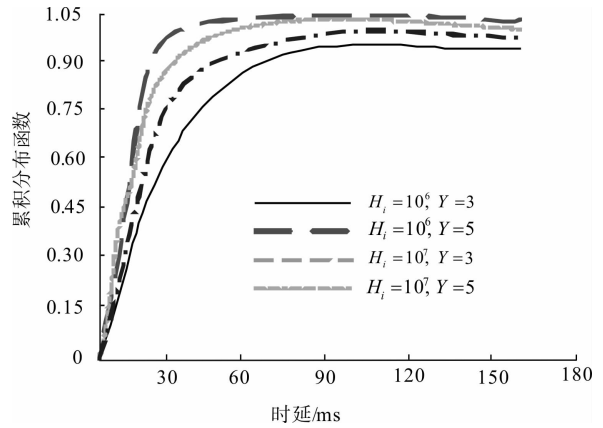


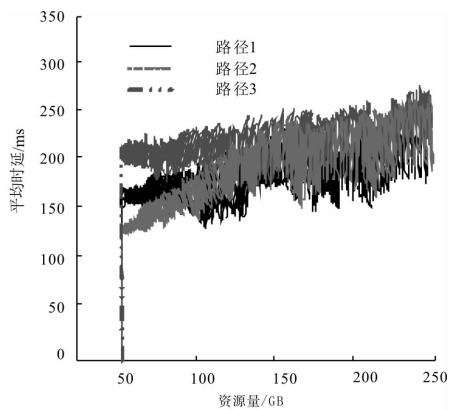
图 2 不同参数下时延结果

从图 2 可以看出,应用本文方法后, $Y$  值相同时, $H_i$  值越小,累积分布函数值越大,企业信息化跨区域网络时延就越小. 在  $H_i$  值相同时, $Y$  值个数越多,累积分布函数值就越大,时延越小. 并且不同参数下网络总时延在 100 ms 左右均趋于稳定,满足总延时小于 250 ms 的条件,说明在资源总量  $H_i$  值越小且资源包  $Y$  个数越多时,本文方法的应用效果越好,且资源分配后的网络传输时延较小.

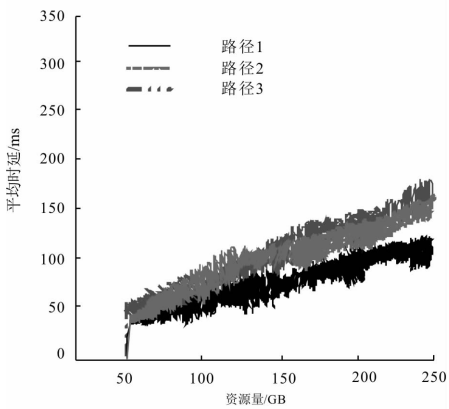
以该企业网络应用时其中 3 条路径的传输时延作为衡量本文方法应用效果指标,分析该企业原有资源分配后网络时延以及本文方法应用后的网络时延情况,结果如图 3 所示.

图 3 中,原有方案指的是企业网络本身应用的资源分配方案. 从图 3 可看出,应用本文方法后,这 3 条路径资源分配后的网络时延抖动幅值相较于应用前的网络时延抖动幅值大幅降低,并且应用本

文方法后,随着资源量的增加,3 条路径资源分配后的网络平均时延均未超过 200 ms,说明本文方法对资源进行分配后可有效控制信息传输时延抖动,降低信息传输总延时。



(a)原有资源分配的网络时延



(b)本文方法应用后网络时延

图 3 时延情况对比

统计应用本文方法后,在企业 A 地分公司与 B 地分公司之间分别进行本地资源及跨区域资源传输的时延情况,并以资源分配后的网络通信时延小于 250 ms 为网络最佳状态的满足条件,结果如表 3 所示。

表 3 本地及跨区域资源传输时延数据

类型	明细	时延/ms
本地资源传输	A 地宏基站 - A 地小基站	108
	B 地宏基站 - B 地小基站	123
跨区域资源传输	A 地宏基站 - B 地宏基站	178
	A 地小基站 - B 地小基站	209
	A 地宏基站 - B 地小基站	194
	B 地宏基站 - A 地小基站	213

通过表 3 可看出,应用本文方法后,该企业无论是本地资源传输还是跨区域资源传输时的时延均较小,其中在跨区域资源传输时,网络时延数据相较于本地资源传输较大,但时延均控制在 250

ms 的理想范围内. 由此得出本文方法的应用可以有效降低跨区域资源传输时延,提升信息化跨区域网络传输性能。

### 3 结论

面向信息化跨区域网络在当今信息飞速发展时代的通信需求,笔者以资源均衡分配以及时延最小为目标进行信息化跨区域网络资源分配. 该方法可保障资源分配均衡性,降低资源传输时延、提高传输效率. 今后,笔者将在上述研究的基础上,研究资源分配后跨区域网络在不同资源负载下传输时延以及网络吞吐量变化情况,进一步提升跨区域网络传输性能。

### 参考文献:

- [1]刘霞,夏曾玉,张亚男. 不确定环境下本地与跨区域网络对集群企业创新影响研究[J]. 科研管理,2019(6): 184 - 194.
- [2]曾坚毅,许济金. 基于马氏决策的 5G 网络切片虚拟资源分配研究[J]. 计算机仿真,2022(6):242 - 246.
- [3]孙长印,金少卓,谢永斌. 超密集组网多维资源联合调度[J]. 西安邮电大学学报,2019(3):7 - 11,30.
- [4]叶迎晖,施丽琴,卢光跃. 无线供能移动边缘网络中计算时延最小化资源分配方法研究[J]. 电子与信息学报,2022(5):1839 - 1846.
- [5]张航,唐冬,黄高飞,等. 无线供能协作计算网络中的时延最小化资源分配方案[J]. 计算机应用研究,2022(1):214 - 220.
- [6]王汝言,李宏娟,吴大鹏. 基于 Stackelberg 博弈的虚拟化无线传感网络资源分配策略[J]. 电子与信息学报,2019(2):377 - 384.
- [7]郑冰原,孙彦赞,吴雅婷,等. 基于深度强化学习的超密集网络资源分配[J]. 电子测量技术,2020(9):133 - 138.
- [8]郑振康,周金和. 面向多租户网络资源分配的博弈优化策略[J]. 计算机工程,2022(5):170 - 177.
- [9]王利平,庞晓艳,朱雨,等. 基于物联网和移动互联的二次设备运维技术研究与应用[J]. 中国电力,2019(3): 177 - 184.
- [10]许焱平,贾文杰,李晓静,等. 超密集网络中一种改进的分簇及资源分配方案[J]. 北京邮电大学学报,2019(2):77 - 82.

- [11] 黄冬晴, 俞黎阳, 陈珏, 等. 面向移动边缘计算的联合计算卸载和资源分配策略研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2021(6): 88 - 99.
- [12] 曾菊玲, 张春雷, 蒋砺思, 等. 基于信道定价的无线虚拟网络资源分配策略: 匹配/Stackelberg 分层博弈[J]. 电子与信息学报, 2021(1): 108 - 115.
- [13] 申帅, 董晓龙, 钱建生, 等. 无线充电体域网基于边际效用的网络资源分配方法[J]. 计算机应用研究, 2020(6): 1844 - 1847.
- [14] 王雪, 刘京, 孙佳妮, 等. 基于谱聚类的异构蜂窝超密集网络高效资源分配算法[J]. 通信学报, 2021(7): 162 - 175.
- [15] 马超, 王涛, 金志文, 等. 机会中继 OFDMA 下行网络的高效资源分配[J]. 计算机仿真, 2019(6): 194 - 200.
- (责任编辑: 王彦江)

## Research on Resource Allocation Method for Information Trans-regional Network with Minimum Delay

QIAN Feng

(Center of Networks & Information Administration, Huangshan University,  
Huangshan, Anhui 245041, China)

**Abstract:** In order to improve the balance of resource allocation and the real-time performance of network transmission, this paper proposes a resource allocation method of information trans-regional network with delay minimization. Based on the characteristics of the cross-regional network model and the transmission delay problem, this paper constructs the information cross-regional network delay minimization resource balanced allocation model with the goal of balanced allocation of different types of resources and the total network delay minimization, and with the constraint that the total weight of each cross-regional network resource allocation is equal to 1. Combining with Beckman's change idea to solve the construction model, this paper obtains the resource allocation results with balanced resource allocation and minimum total delay through the diversion and transformation of network resources. The experimental results show that this method can better allocate information cross-regional network resources and avoid packet loss and network congestion during information transmission; After resource allocation, the delay jitter in information transmission, local transmission and cross-region transmission delay are reduced, and the information transmission is improved.

**Key words:** information network; cross-regional network; resource allocation; minimum delay; delay jitter; network delay

