

# 基于叠加编码及多用户调度的高斯传输信道优化算法

宋海龙<sup>1,2\*</sup>, 张书真<sup>1</sup>

(1. 吉首大学 信息科学与工程学院, 湖南 吉首 416000; 2. 中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

(\* 通信作者电子邮箱 hailong\_song77@126.com)

**摘要:** 为了提高高斯传输信道的数据传输效率, 提出了一种基于叠加编码及多用户调度的高斯传输信道优化算法(MGSC)。首先, 该算法提出了高斯传输信道的系统模型, 分析源-端的距离概率密度函数和累积分布函数以及用户的平均功率增益; 接着, 在高斯传输信道上采用最优的叠加编码与连续干扰消除的方法, 并根据各个用户的效用函数来执行最佳的功率和速率分配, 并通过概率优化方法来对信道用户进行选择, 接入最佳的传输信道; 最后, 实验仿真结果表明, 在信道接入用户变化的情况下, 相比双向中继信道无线信号和功率传输优化算法(TWRC)以及基于矩阵与格球解码(LSD)技术的数据传输算法, MGSC的信道总数据传输速率分别提升10.2%和21.7%, 并且信道增益的平均效果分别高出5.7%和6.4%。因此, MGSC在信道传输速率和信道增益上有较好的优化效果。

**关键词:** 高斯传输信道; 叠加编码; 多用户调度; 数据传输速率

**中图分类号:** TN926; TP393 **文献标志码:** A

## Gaussian transmission channel optimization algorithm based on superposition coding and multi-user scheduling

SONG Hailong<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Shuzhen<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Jishou University, Jishou Hunan 416000, China;

2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract:** To improve the data transmission efficiency of Gaussian transmission channel, a Gaussian transmission channel optimization algorithm based on Superposition Coding and Multi-user scheduling (MGSC) was proposed. First, the system model of Gaussian transmission channel was proposed, the Probability Density Function (PDF) and the Cumulative Distribution Function (CDF) of distance from the source to the end and the user's average power gain were analyzed. Next, the method of optimal superposition coding and successive interference cancellation was used in Gaussian transmission channel, the optimal power and rate allocation was performed according to each user's utility function, the channel users were selected by the optimal method with probability and then the optimal transmission channel was obtained. Finally, by comparing MGSC with the optimization algorithm of Two-Way Relay Channel wireless signal and power transmission (TWRC), and the data transmission algorithm based on matrix and Lattice Sphere Decoding technique (LSD), the simulation results show that the total data rate of channels for MGSC improves 10.2% and 21.7% and the average effect of channel gain is 5.7% and 6.4% higher when channel access users change. Therefore, the MGSC has better optimization results in the channel transmission rate and the channel gain.

**Key words:** Gaussian transmission channel; superposition coding; multi-user scheduling; data transfer rate

## 0 引言

随着音频、视频等数据流的不断增多, 下一代的无线系统需要能够支持更高的数据传输速率, 因此, 近年来有大量的工作投入到改善无线通信系统的频谱效率。许多新的技术, 如协作网络、认知无线网络等, 都是基于高效的数据传输速率而提出。为了实现数据的高效传输, 在高斯传输信道上采用最优的叠加编码(Superposition Coding, SC)与连续干扰消除(Successive Interference Cancellation, SIC)的方法<sup>[1-3]</sup>。此外, 根据每个用户的信道质量, 用户能够了解其他用户在较差的

信道条件下的反应。此外, 在一个时间的预定的用户数取决于信道条件并随时间变化。如果用户数量较多, 则复杂性和反馈负载可能会降低频谱效率<sup>[4-5]</sup>。因此, 为了降低复杂性和开销, 对单个用户(Single User, SU)的选择, 仅考虑具有最大加权速率的用户。选择单个用户可以显著地减少复杂性, 同时仍然利用多用户分集。当目标具有最大化的总速率时该SU会成为最佳的选择对象<sup>[6]</sup>, 而具有不同权值的用户成为次优目标。

对于信用优化的研究, 国内开展了较多的研究工作。夏娜等<sup>[7]</sup>提出一种多信道无线网络中优化吉布斯采样信道选

收稿日期: 2015-01-13; 修回日期: 2015-04-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61173169); 湖南省教育厅科研项目(13C755)。

作者简介: 宋海龙(1977-), 男, 山东平度人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 网络编码、编码密码; 张书真(1977-), 女, 湖南桑植人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 信号分析、数字图像处理。

择算法,通过一种基于吉布斯采样的分布式节点信道选择方法,并根据优化目标构造了能量函数,以计算各个信道的选择概率,完成对信道的优化选择,优化了无线网络的信道数据传输。周超等<sup>[8]</sup>提出一种面向多输入多输出(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)多跳无线网络的多用户视频传输优化方法,该方法利用链路选择、MIMO的空间复用和空间分集等特点,减少链路间的共信道干扰,最大化多用户的平均视频传输质量,并引入了遗传算法,在保证信道传输性能的同时,大幅度降低了求解复杂度。许瑞琛等<sup>[9]</sup>提出一种认知无线电周期数据传输优化机制,分别给出频谱感知时间、信道搜索时间以及数据传输时间的优化计算方法,得到了信道的最优数据传输时间、最优信道搜索时间以及最优数据传输时间。Fang等<sup>[10]</sup>提出分布式能源波束形成的双向中继信道无线信号和功率传输优化算法(Two Way Relay Channel radio signals and power transmission optimization algorithms, TWRC),两个源节点经由基于能量采集的中继节点进行交换信息,并且选择最佳的收发器来最大限度地实现信道传输的总速率。Albreem等<sup>[11]</sup>提出一种采用特殊信道矩阵和格球解码的数据传输方式(grid Ball Decoded data Transmission Style, BDTS),所提出的方案是采用特殊的矩阵与格球解码(Line Special matrix ball grid Decoding, LSD)技术,采取Hankel和Toeplitz矩阵分别用作信道矩阵,提升网络系统的信道传输性能。Dong等<sup>[12]</sup>提出一种基于多天线的认知无线电并行子信道传输算法,该文研究认知无线电并行子信道传输速率的最大化问题,使子信道沿着预计信道矩阵的空间方向,并且对这些子信道进行功率分配,当投影信道矩阵的维数能够被适当地选择时,该算法可以最优化数据传输速率。

## 1 系统模型

假设高斯传输信道有一个源节点 $n_s$ 与 $M$ 个用户或者目的节点 $n_d$ 通信。每个用户都有自己的速率要求,这是由它的权重 $u_i$ 指定的,此外,每个终端被假设为配备有单个天线。该信道被建模为慢衰落。因此,时间-频率网格被划分为多个块。信道在一个通道块(Channel Block, CB)中被假设为保持不变,且独立改变并随机地从一个信道块到另一个信道块。并且假设在一个持续的数据传输时间当中,副载波带宽小于信道相干时间和相干带宽<sup>[13-14]</sup>。为了不失一般性,假设每个CB具有相同的持续时间和带宽,假设当用户相距较远时会遭遇独立衰落的情况。还假设目的节点是均匀地分布在围绕着源节点的最小半径为 $d_{\min}$ 及最大半径为 $d_{\max}$ 的圆形区域当中,因此,从源到目的地的距离的概率密度函数(Probability Density Function, PDF)以及累积分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)<sup>[15-16]</sup>分别给出:

$$f_P(d) = \frac{2d + d_{\max}d_{\min}}{(d_{\max} - d_{\min})^2} \quad (1)$$

$$f_C(d) = \frac{(d - d_{\min})^2 + d_{\max}d_{\min}}{(d_{\max} - d_{\min})^2} \quad (2)$$

从源节点到第 $i$ 个最远目的地节点的平均距离表示为:

$$\bar{d} = ix \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} (1 - f_C(x))^{i-1} f_P(x) f_C(x)^{M-i} dx \quad (3)$$

第 $i$ 个用户的平均功率增益可以表示为:

$$\hat{g}_i = \chi(\bar{d})^{-\lambda} \quad (4)$$

其中: $\lambda$ 表示路径损耗指数, $\chi$ 是与发送功率和天线增益相关的一个常数。根据文献[13],为了使仿真条件尽可能接近实际环境,在仿真中,使用 $\lambda = 2$ , $\chi = 10^2$ ,最小半径 $d_{\min} = 2$ ,最大半径 $d_{\max} = 20$ ,此外,平均信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)范围在0~30 dB。

假设在每一个CB的功率 $\overline{P_B}$ 是一个常数,并且假设所有用户的噪声方差相等,为 $\sigma^2$ 。源节点被假设为具有所有到用户链路的信道状态信息,并根据第2章提到的瞬时信道条件在每一个CB中作出调度决策。

## 2 基于叠加编码的用户选择和资源分配

在所提出的算法中,在第 $k$ 个CB中用户首先进行排序,根据标准:

$$\omega_i(k) = u_i H_i[k]; i = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

其中 $H_i[k]$ 是第 $i$ 个用户在第 $k$ 个CB的瞬时容量,由式(6)给出:

$$H_i[k] = \ln\left(1 + \frac{\overline{P_B} \hat{g}_i[k]}{2\sigma^2}\right) e \quad (6)$$

其中 $\hat{g}_i[k]$ 是第 $i$ 个用户在第 $k$ 个CB的功率增益,接着,两个具有最大 $\omega_i(\cdot)$ 值的用户被选择。因此,在每一个CB中,第一个用户被选择:

$$y_1 = \arg \max \omega_i \\ \text{s.t. } \forall i = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

并且第二个用户被选择:

$$y_2 = \arg \max \omega_i \\ \text{s.t. } \forall i \neq y_1 \quad (8)$$

在选择用户后,所有被选择的用户接着使用叠加编码相结合<sup>[17-18]</sup>。在叠加编码中,边际效用函数是根据所有竞争用户来定义,并且根据各个用户的效用函数,功率和速率被分配给每个用户。第 $i$ 个用户的边际效用函数定义为:

$$U_i(k, c) = \{u_i - (1/\hat{g}_i[k] + c)\omega_i[k]\} / (1/\hat{g}_i[k] + c) \\ \text{s.t. } i = y_1, y_2; 0 < c < \overline{P_B} \quad (9)$$

其中 $c$ 表示干扰电平。 $\omega_i[k]$ 的表达式为:

$$\omega_i[k] = u_i / (1/\hat{g}_i[k] + \overline{P_B}/\sigma^2); \\ \text{s.t. } i = y_1, y_2 \quad (10)$$

速率和功率接着分配给每个用户:

$$v_i[k] = \int \frac{1}{1/\hat{g}_i[k] + c} dc / \ln 2 \quad (11)$$

$$P_i[k] = \sigma^2 \int_{Q_i[k]} dk \quad (12)$$

当第 $i$ 个用户没有在第 $k$ 个CB中被选择时, $Q_i[k]$ 为空集。

在一般情况下,最佳功率和速率分配很难得到闭合形式的解,因此,需要找到所有用户的效用函数,并根据每个用户的计算得到最佳速率和功率,这会导致计算复杂度增加,为了降低计算复杂度,因此定义 $Q_i[k]$ 为:

$$Q_i[k] = \{c \in [0, \overline{P_B}]; U_i(k, c) > U_j(k, c) | \\ \forall i \neq j, \{i, j\} \in \{y_1, y_2\}\} \quad (13)$$

对于所提出的方案,因为只有两个用户,速率和功率分配可以以闭合形式来获得。其中两个用户被调度的情况是当它们的边际效用函数在区间  $[0, \overline{P_B}/\sigma^2]$  内有交叉点时。定义  $c[k]$  为:

$$c[k] = \frac{\frac{u_{y_1}}{\widehat{g}_{y_2}[k]} - \frac{u_{y_2}}{\widehat{g}_{y_1}[k]}}{u_{y_2} - u_{y_1}}; \quad (14)$$

s. t.  $u_{y_2} \neq u_{y_1}$

如果  $u_{y_2} = u_{y_1}$ , 用户采用更高的功率增益  $\widehat{g}[k]$ , 是在第  $k$  个 CB 中被选择。第  $i$  个用户的数据传输速率, 在第  $k$  个 CB 中被定义为:

$$v_i[k] = \begin{cases} 0, & c[k] \leq 0, \omega_j[k] > \omega_i[k] \\ \ln\left(1 + \frac{\overline{P_B} \widehat{g}_i[k]}{2\sigma^2}\right), & c[k] \leq 0, \omega_j[k] < \omega_i[k] \\ \ln\left(1 + \frac{u_1 \widehat{g}_{y_1}[k] - u_2 \widehat{g}_{y_2}[k]}{\widehat{g}_{y_1}[k](u_2 - u_1)}\right), & 0 < c[k], \omega_j[k] > \omega_i[k] \\ \ln\left(\frac{(\sigma^2 + \widehat{g}_{y_1}[k]) \widehat{g}_{y_2}[k](u_2 - u_1)}{u_i(\widehat{g}_{y_1}[k] - \widehat{g}_{y_2}[k])}\right), & 0 < c[k], \omega_j[k] < \omega_i[k] \end{cases} \quad (15)$$

在第  $k$  个 CB 中分配给第  $i$  个用户的功率  $\overline{P}_i[k]$  为:

$$\overline{P}_i[k] = \begin{cases} 0, & c[k] \leq 0, \omega_j[k] > \omega_i[k] \\ \overline{P_B}, & c[k] \leq 0, \omega_j[k] < \omega_i[k] \\ \frac{\frac{u_1}{\widehat{g}_{y_2}[k]} - \frac{u_2}{\widehat{g}_{y_1}[k]}}{\sigma^2 \frac{u_2 - u_1}{\widehat{g}_{y_2}[k]}}, & 0 < c[k], \omega_j[k] > \omega_i[k] \\ \frac{\frac{u_1}{\widehat{g}_{y_2}[k]} - \frac{u_2}{\widehat{g}_{y_1}[k]}}{\overline{P_B} - \sigma^2 \frac{u_2 - u_1}{\widehat{g}_{y_2}[k]}}, & 0 < c[k], \omega_j[k] < \omega_i[k] \end{cases} \quad (16)$$

### 3 用户数据传输速率优化及选择概率

第  $i$  个用户的数据传输速率优化方程表示为:

$$\overline{v}_i = \frac{\sqrt{2} \int_0^{\overline{P_B}/\sigma^2} \int_0^\infty \frac{1}{\widehat{g} + c} f_{\widehat{g}_i}(\widehat{g}) \, d\widehat{g} \, dc}{2\pi} \quad (17)$$

其中:  $f_{\widehat{g}_i}(\cdot)$  表示第  $i$  个用户的信道功率增益的 PDF, 当第  $i$  个用户的  $\omega_i$  值是两个用户中最大的, 则该用户被选中, 且在任何区域中它的效用函数是最大值。

由于所有用户都遭遇到独立的信道衰落, 因此第  $i$  个用户被选择的概率为:

$$p(i) = \sum_{k \neq i} A_k(\widehat{g}) \prod_{j \neq i, k} X_j\left(\frac{1}{\overline{P_B}}\left((1 + \overline{P_B})^{u_j/u_i} - 1\right)\right) + \sum_{k \neq i} \int_0^\infty \left(\frac{1}{\overline{P_B}}\left((1 + \overline{P_B}/\sigma^2)^{u_k/u_i-1}\right)\right) \prod_{j \neq i, k} X_j\left((\overline{P_B}/\sigma^2)^{u_k/u_j} - 1\right) \, d\widehat{g} \quad (18)$$

其中  $X_j$  表示第  $j$  个用户的信道功率增益的 CDF, 而  $A_k(\widehat{g})$  的表达方程式为:

$$A_k(\widehat{g}) = \left[ X_k\left(\frac{2u_i \widehat{g}}{(u_k + (u_k - u_i)c + 1)}\right) - X_k\left((1 + \overline{P_B})^{u_i/u_k} - 1\right) \sigma^2 / \overline{P_B} \right] \quad (19)$$

### 4 实验仿真及分析

为了验证本文提出的基于叠加编码及多用户调度的高斯传输信道优化算法的性能, 在实验采用 Matlab 7.1 编程仿真软件进行模拟仿真。参考文献[10]和文献[11]的仿真环境, 假设源节点位于坐标为  $(0, 0)$  的中心, 圆形区域的一个最小半径为  $d_{\min} = 50$  m, 最大半径为  $d_{\max} = 100$  m, 目的节点位于最小半径和最大半径所形成的圆形的区域之间。在仿真中对于所有用户利用瑞利衰落模型的所有衰落过程, 衰落过程的 PDF 和 CDF 分别定义为:

$$f_g(\widehat{g}) = \frac{1}{\widehat{g}} \exp(-\widehat{g}/\overline{g}) \quad (20)$$

$$F_g(\widehat{g}) = 1 - \exp(-\widehat{g}/\overline{g}) \quad (21)$$

其中  $\overline{g}$  表示平均信道增益。

为了更好地体现出本文提出的基于叠加编码及多用户调度的高斯传输信道优化算法 (Gaussian transmission channel optimization algorithm based on Superposition Coding and Multi-user scheduling, MGSC) 的性能, 在实验中采用了对比分析的方法, 其中对比算法为文献[10]中提出的 TWRC 算法和文献[11]中采用的 LSD 技术。三种算法都在同样的仿真参数设置和同样的仿真平台下进行。

图1显示了三种算法在增加用户个数的条件下的速率总和, 其中, 随着用户数的增加, 三种算法的速率总和的变化趋势都是首先增益, 然后增益的幅度开始逐渐减小, 最后不再增益。三种算法的速率总和大小也有明显的差异, 其中 MGSC 算法的最低速率总和为 3.44 bit/(s · Hz), 最高为 6.73 bit/(s · Hz), 本文基于信道功率增益和信道容量, 采用了用户数据传输速率优化方程, 对速率增益具有明显帮助。而 TWRC 算法的最低速率总和为 3.11 bit/(s · Hz), 最高为 5.94 bit/(s · Hz), TWRC 算法是通过选择最佳收发器来提高信道传输的总速率, 因此传输速率依赖于所选择的硬件配置的性能, 具有一定的局限性。LSD 算法的最低速率总和为 2.53 bit/(s · Hz), 最高为 4.6 bit/(s · Hz), LSD 算法则是通过信道矩阵进行传输优化, 但从仿真情况来看, 效果并不明显。因此在这三种算法中, MGSC 算法的速率总和最大, 随用户数变化的速率总和增益幅度也最大, 即数据传输效率比 TWRC 和 LSD 算法也具有更加明显的优势。

图2显示了三种算法在增加用户个数的条件下的单位用户数据传输速率变化情况, 从图中的数据分布情况来看, 随着用户个数的增多, 单位用户的数据传输速率是逐渐减小, 并最终达到一个最低值, 该最低值即用户的最低数据传输速率。

在所设置的初始用户个数时三种算法的单位用户数据传输速率基本相同,但随着用户数量的变化,三种算法的单位用户数据传输速率变化的大小情况各不相同。其中,LSD算法的单位用户数据传输速率的减小幅度最大,MGSC算法的单位用户数据传输速率的减小幅度最小,MGSC算法的单位用户的数据传输速率最高达到了  $6.8 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ ,LSD算法和TWRC算法则分别为  $4.4 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$  和  $5.9 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。因此,MGSC分配给每个用户的数据传输速率相比LSD算法和TWRC算法更大。

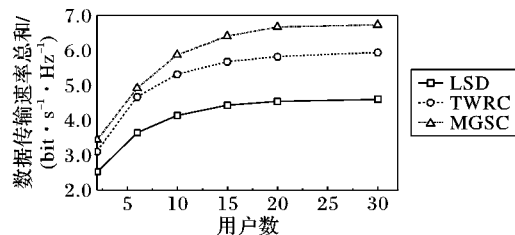


图1 数据传输速率总和随用户个数的变化情况

图3显示了在用户个数变化的条件下算法的信道增益情况,信道增益指信道本身的衰减及衰落特性。从图3可以看出,用户个数的增加会提升信道增益;其中,MGSC算法在整个变化过程中信道增益提升了59%,因为该算法在高斯传输信道上采用最优的叠加编码与连续干扰消除的方法,并根据用户效用函数来选择接入信道,减缓信道衰落速度;而LSD算法的信道增益提升了41%;TWRC算法的信道增益提升了39%。在总数据传输速率上,本文提出的MGSC算法相比TWRC算法和LSD算法分别提高了10.2%和21.7%;在信道增益的效果上,相比TWRC算法和LSD算法分别高出5.7%和6.4%。因为本文的MGSC算法采用的是基于叠加编码的原理进行用户的选择,并执行最佳的功率和速率分配,可以看出,MGSC算法的增益效果更加明显。

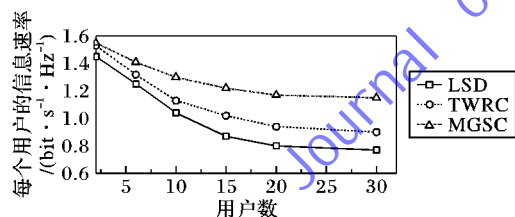


图2 单个用户的数据传输速率变化情况

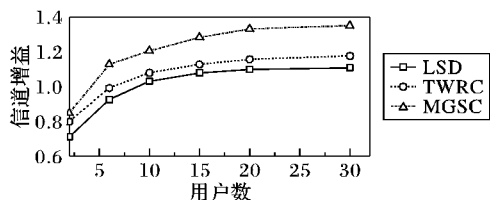


图3 随着用户个数变化的信道增益情况

## 5 结语

本文针对高斯传输信道的优化问题,提出了基于叠加编码及多用户调度的高斯传输信道优化算法(MGSC),为了实现数据的高效传输,在高斯传输信道上采用最优的叠加编码与连续干扰消除的方法。在系统模型中分析了源到目的地的距离的概率密度函数以及累积分布函数,在选择用户后,被选择的用户使用叠加编码相结合,并定义用户的边际效用函数,计算得到用户的最佳速率和功率。在实验中通过相同的仿真

条件对MGSC算法、LSD算法和TWRC算法进行了模拟仿真,在用户个数变化的条件下得到了总数据传输速率、单位用户的数据传输速率以及信道增益情况。在总数据传输速率上,本文提出的MGSC算法相比TWRC算法和LSD算法分别提高了10.2%和21.7%;在信道增益的效果上,相比TWRC算法和LSD算法分别高出5.7%和6.4%。因此,MGSC算法在信道数据传输的性能上表现出了更大的优势。

## 参考文献:

- [1] CHEN W-C, LANDY N I, KEMPA K, *et al.* A subwavelength extraordinary-optical-transmission channel in babinet metamaterials [J]. *Advanced Optical Materials*, 2013, 1(3): 221-226.
- [2] HIRAGA K, SAKAMOTO K, SEKI T, *et al.* Effects of weight errors on capacity in simple decoding of short-range MIMO transmission [J]. *IEICE Communications Express*, 2013, 2(5): 193-199.
- [3] AHN B-J, SONG S-M, KIM S-W, *et al.* Channel characterization and transmission efficiency analysis of wireless body area network [J]. *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 2012, 23(8): 985-994.
- [4] FAN C-X, JIANG G-P. State estimation of complex dynamical network under noisy transmission channel [C]// *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. Piscataway: IEEE, 2012: 2107-2110.
- [5] CHEN W-C, LANDY N I, KEMPA K, *et al.* Optical transmission: a subwavelength extraordinary-optical-transmission channel in babinet metamaterials [J]. *Advanced Optical Materials*, 2013, 1(3): 195-195.
- [6] LI S Y, HUO R, CUI X K, *et al.* Analysis of energy transfer and distribution characteristics of the gearbox vibration transmission channel based on energy finite element [J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 1030/1031/1033: 1151-1154.
- [7] XIA N, CHEN X, XU C, *et al.* Channel selection algorithm based on Gibbs sampler for optimal QoM in multi-channel wireless networks [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2011, 34(7): 1214-1223. (夏娜, 陈秀珍, 徐朝农, 等. 多信道无线网络中优化 QoM 吉布斯采样信道选择算法[J]. *计算机学报*, 2011, 34(7): 1214-1223.)
- [8] ZHOU C, ZHANG X, GUO Z. Optimization scheme for multi-user video transmission over MIMO multi-hop wireless networks [J]. *Journal of Software*, 2013, 24(2): 279-294. (周超, 张行功, 郭宗明. 面向 MIMO 多跳无线网络的多用户视频传输优化方法[J]. *软件学报*, 2013, 24(2): 279-294.)
- [9] XU R, JIANG T. Optimization of cycle transmission mechanism in cognitive radio [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(7): 1694-1699. (许瑞琛, 蒋挺. 一种认知无线电周期数据传输优化机制[J]. *电子与信息学报*, 2013, 35(7): 1694-1699.)
- [10] FANG Z, YUAN X, WANG X. Distributed energy beamforming for simultaneous wireless information and power transfer in the two-way relay channel [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2015, 22(6): 656-660.
- [11] ALBREEM M A M, SALLEH M F M. Lattice sphere decoding for data transmission systems with special channel matrices [J]. *Wireless Personal Communications*, 2014, 79(1): 265-277.
- [12] DONG L, LIU Y. Parallel sub-channel transmission for cognitive radios with multiple antennas [J]. *Wireless Personal Communications*, 2014, 79(3): 2069-2087.

(下转第1584页)



法的优势越明显。

科学工作流执行费用与处理机的个数和类型有关,若用户没有特殊要求,则根据科学工作流的类型选择不同类型的处理机;反之则要考虑用户的需求选择合适的处理机类型。无论在什么情况下,使用的处理机个数越少意味着执行费用越低,所以本文采用聚簇的方法,在不增加执行时间的前提下尽量减少任务簇的个数从而减少占用处理机的个数,达到降低执行费用的目的。

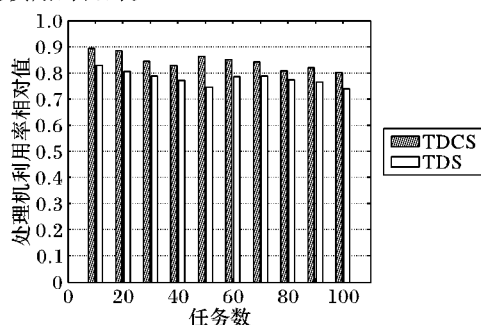


图4 处理机利用率相对值

#### 4 结语

针对科学工作流执行过程中所涉及到的执行时间、资源利用以及执行费用问题,本文探讨了一种云环境下科学工作流的执行优化策略,该策略通过任务复制来减少任务间的通信时间,进而使科学工作流的最早完成时间最小化,在保证科学工作流最早完成时间不增加的前提下,对任务簇进一步进行聚簇,从而减少处理机的使用个数。实验结果表明,本文提出的策略对于缩短科学工作流的完成时间、充分利用处理机的闲置时间并最终提高处理机的利用率和降低工作流的执行费用有明显的效果。下一步将针对混合并行科学工作流,探讨其在云环境中的执行优化。

#### 参考文献:

- [1] ZHAO Y, LI Y, TIAN W, *et al.* Scientific-workflow-management-as-a-service in the cloud [C]// Proceedings of the 2012 Second International Conference on Cloud and Green Computing. Piscataway: IEEE, 2012: 97–104.
- [2] CHEN W, ALTINTAS I, WANG J, *et al.* Enhancing smart re-run of Kepler scientific workflows based on near optimum provenance caching in cloud [C]// Proceedings of the 2014 IEEE World Congress on Services. Piscataway: IEEE, 2014: 378–384.
- [3] VAQUERO L M, RODERO-MERINO L, CACERES J, *et al.* A break in the clouds: towards a cloud definition [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 39(1): 50–55.
- [4] DEJUN J, PIERRE G, CHI C H. EC2 performance analysis for resource provisioning of service-oriented applications [C]// Proceedings of ICSOC/ServiceWave 2009 Workshops Service-Oriented Computing, LNCS 6275. Berlin: Springer, 2010: 197–207.
- [5] KIM H, el-KHAMRA Y, RODERO I, *et al.* Autonomic management of application workflows on hybrid computing infrastructure [J]. Scientific Programming-Science-Driven Cloud Computing, 2011, 19(2/3): 75–89.
- [6] SHI X, XU K. Utility maximization model of virtual machine scheduling in cloud environment [J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(2): 252–262. (师雪霖, 徐恪. 云虚拟机资源分配的效用最大化模型[J]. 计算机学报, 2013, 36(2): 252–262.)
- [7] YAN G, YU J, YANG X. Two-step task scheduling strategy for scientific workflow on cloud computing platform [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(4): 1006–1009. (闫歌, 于炯, 杨兴耀. 云计算环境下科学工作流两阶段任务调度策略[J]. 计算机应用, 2013, 33(4): 1006–1009.)
- [8] BAJAJ R, AGRAWAL D P. Improving scheduling of tasks in a heterogeneous environment [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(2): 107–118.
- [9] DARBHA S, AGRAWAL D P. Optimal scheduling algorithm for distributed-memory machines [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1998, 9(1): 87–95.
- [10] PARK C-L, CHOE T-Y. An optimal scheduling algorithm based on task duplication [C]// ICPADS 2001: Proceedings of the Eighth International Conference on Parallel and Distributed Systems. Piscataway: IEEE, 2001: 9–14.
- [11] XIE Z, HAN Y, QI Y, *et al.* A scheduling algorithm for multi-core based on critical path and task duplication [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2014, 36(1): 172–177. (谢志强, 韩英杰, 齐永红, 等. 基于关键路径和任务复制的多核调度算法[J]. 国防科技大学学报, 2014, 36(1): 172–177.)
- [12] COLIN J Y, CHRETIENNE P. C. P. M. scheduling with small communication delays and task duplication [J]. Operations Research, 1991, 39(4): 680–684.
- [13] ZHANG J, LI Q, QU Y. Task duplication based scheduling algorithm [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(8): 1896–1899. (张建军, 李庆华, 瞿勇. 基于任务复制的调度算法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 1896–1899.)
- [14] LUO H, CHEN W. Replica allocation policy of cloudy services based on social network properties [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(8): 2143–2146. (罗浩宇, 陈旺虎. 基于社会网络特征的云服务副本放置策略[J]. 计算机应用, 2013, 33(8): 2143–2146.)
- [15] XIAO Y, XIAO B, WANG X. Potential transmission capability of wireless communication network [C]// Proceedings of the 2013 3rd International Conference on Computer Science and Network Technology. Piscataway: IEEE, 2013: 1325–1329.
- [16] GUIOMAR F P, REIS J D, CARENA A, *et al.* Experimental demonstration of a frequency-domain Volterra series nonlinear equalizer in polarization-multiplexed transmission [J]. Optics Express, 2013, 21(1): 276–288.
- [17] WU K, LI H, WANG L, *et al.* HJam: Attachment transmission in WLANs [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(12): 2334–2345.
- [18] ZENG T. Superchannel transmission system based on multi-channel equalization [J]. Optics Express, 2013, 21(12): 14799–14807.

(上接第1540页)