

OFDM-UWB 系统基于用户速率的多用户动态资源分配算法

程超, 钱志鸿, 李春兰, 王雪

(吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 在原有动态资源分配算法基础上, 提出了一种基于用户速率需求的动态资源分配算法。该算法在满足用户数据速率需求和服务质量要求 (QoS) 的前提下, 以用户公平性为原则, 分步执行子载波和比特分配来降低系统总的发射功率。首先, 通过比较不同子载波对用户速率的影响, 引入速率影响因子, 对子载波进行分配; 然后为每个用户子载波分配比特, 并根据用户速率需求进行比特调整。为了进一步降低系统的复杂度, 提出了一种通过子载波分组来完成子载波比特分配的方法。仿真结果表明, 该算法能够降低系统功耗、误码率和系统复杂度。

关键词: 超宽带; 动态资源分配; 用户公平性

中图分类号: TN929.5

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)09-0160-08

Dynamic resource allocation scheme for multiuser OFDM-UWB systems based on user's rate

CHENG Chao, QIAN Zhi-hong, LI Chun-lan, WANG Xue

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: According to original dynamic resource allocation algorithms, a new dynamic resource allocation algorithm for multiuser OFDM-UWB system based on users' rates was proposed to minimize the total transmitting power while satisfy requests for QoS and data rate of all users. Quality of the system was improved running the subcarrier allocation and bit allocation algorithms based on fairness of users. In subcarrier allocation process, rate impact factor was used to compare influence of different subcarriers to a user. In allocation process, bits were allocated to each user's subcarriers first, then bits on each subcarriers were adjusted according to rate request of each user. In order to reduce the complexity system of the furthermore, a subcarrier and bit allocation scheme is employed through subcarrier grouping. Simulation results indicate that the algorithm can lower power consume, BER and operation complexity.

Key words: ultra-wideband; dynamic resource allocation; user fairness

1 引言

近年来, 随着通信技术的发展, 各种移动业务和便携式通信设备不断涌现, 人们对实现高速率、高质量的无线通信技术的需求越来越迫切。超宽带技术作为一种短距离无线通信技术, 可以用比较低

的功率产生带宽很宽的信号, 支持高速率的数据传输, 吸引了来自商业和军事应用等多方面的关注^[1]。超宽带还以其高速率、低功耗、低成本、抗多径、易数字化等诸多优势, 成为无线个域网 (WPAN) 的首选方案, 在未来新一代移动通信中具有很大的发展潜力^[2]。

收稿日期: 2011-11-08; 修回日期: 2012-05-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60940010, 61071073); 国家教育部博士点基金资助项目 (20090061110043)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (60940010, 61071073); The Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China (20090061110043)

OFDM-UWB 方案采用 OFDM 技术传输数据信息，是一种重要的 UWB 系统。该方案是 IEEE 802.15.3a 物理层标准的提案之一，并且已被规定为高速 UWB 系统的物理层及介质访问子层（MAC）的规范^[3]。OFDM 技术的基本思想是将高速的数据流分散到正交的多个子载波上进行传输。美国联邦通信委员会（FCC, Federal Communications Commission）将分配给超宽带的 3.1~10.6GHz 的可用频段分为 14 个子带，每个子带为 518MHz，每个子带有一个 OFDM 符号，包括 128 个副载波。

由于超宽带的高带宽特性，为了防止与其他无线通信设备相干扰，FCC 将超宽带的功率谱密度进行了严格的限制，将其限制在 -41.3dBm/MHz 以下。因此，在严格的功率谱密度限制下如何实现数据有效传输的研究变得极有意义。目前，针对如何实现高效的资源分配，人们进行了大量的研究。以最小化发射功率为优化目标的动态资源分配算法中，最为经典的算法为注水算法^[4]和贪婪算法^[5]。这 2 种算法可以称之为最优的动态资源分配算法，但实现复杂度高，很难直接应用于多用户系统中。针对多用户 OFDM 系统，Wong 等人所提出的联合子载波比特分配算法^[6]虽然能在多用户环境下使资源分配达到最优，但在现代无线通信对数据速率要求很高的传输系统中，该方法存在复杂度过大的缺点。因此很多学者在满足用户数据速率要求的情况下，提出了一些低复杂度的次优算法，虽然损失了一些性能，但复杂度大大降低。Didem 等人提出的两步法^[7]，通过分步实现对子载波的分配：第一步，根据每个用户的平均信噪比和速率要求确定用户的子载波数目；第二步，具体按照子载波的顺序依次分配，每个子载波分配给信道增益最好的用户，直到满足该用户的子载波数目。该方案在降低算法复杂度的同时兼顾了用户之间的公平性。随后一些学者又对该方法进行了改进^[8,9]，在满足数据传输速率的前提下，降低系统的发射功率和复杂度。

基于 OFDM-UWB 系统的信道划分和工作环境，本文以最小化发射功率为优化目标，以两步法为基础，提出了一种改进的动态资源分配算法。该算法首先根据不同子载波对用户速率的影响提出速率影响因子，并根据速率影响因子对子载波进行分配；在比特分配过程中，根据用户速率要求，按照一定的比例对其进行分配；为了进一步降低系统

复杂度，本文还运用了分簇的思想，通过对子载波进行分组来完成子载波和比特的分配。

2 系统模型

多用户 OFDM-UWB 系统框图如图 1 所示。假设系统中有 K 个用户， N 个可供选择的子载波，且每个子载波只能为一个用户使用，信道瞬时状态信息由接收端进行信道估计获得并由控制信道反馈给发射端，发射端通过信道信息对子载波和比特进行分配。

设系统中有 K 个用户，每个用户的速率要求分别为 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_k$ 。该系统以能量最小化为优化目标的动态资源分配算法目标函数为

$$P_T^* = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K p_{k,n} = \min \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{r_{k,n}}{a_{k,n}^2} f_{k,n}(c_{k,n}) \quad (1)$$

其中， $c_{k,n}$ 和 $r_{k,n}$ 必须满足：

$$R_k = \sum_{n=1}^N r_{k,n} c_{k,n}, \quad k=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K r_{k,n} = 1, \quad n=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$p_{k,n}$ 为用户 k 在第 n 个子载波上的传输功率； $c_{k,n}$ 为用户 k 分配到子载波 n 上的比特数目； R_k 为用户的数据速率要求； $a_{k,n}^2$ 为用户 k 对应子载波 n 的信道增益； r 表示信道占用情况的离散变量，当子载波 n 被用户 k 占用时， $r_{k,n}$ 取值为 1，否则，取值为 0； $f_k(c_{k,n})$ 表示用户 k 能可靠接收 $c_{k,n}$ bit/符号信息时所需要的接收功率^[10]，且有：

$$p_{k,n} = f_k(c_{k,n})/a_{k,n}^2 \quad (4)$$

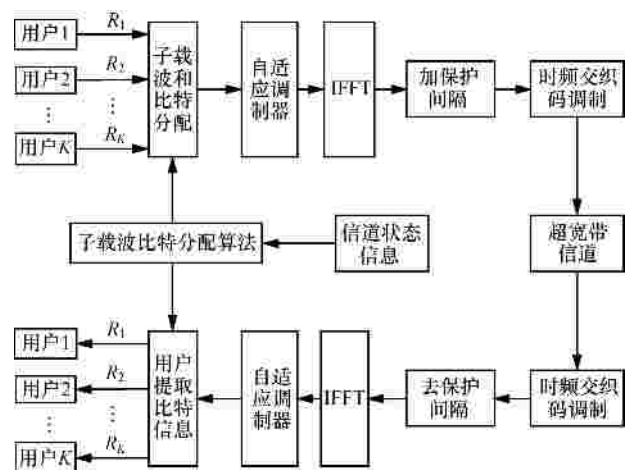


图 1 多用户 OFDM-UWB 系统

3 算法描述

3.1 子载波分配

根据 BABS 算法, 假设各个用户所分配的子载波数已知^[7], 求得各用户为满足其速率要求所需的子载波数为 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$, 由信道估计可得用户 k 在各个子载波上的信道增益为: $H(k) = [H_{k,1}, H_{k,2}, \dots, H_{k,N}]^T$ 。

若将子载波 n_1 分配给用户 k , 则用户 k 在子载波 n_1 上传输的比特数为

$$b_{k,n_1} = \text{lb} \left(1 + \frac{P_{k,n_1} H_{k,n_1}^2}{s^2 \Gamma} \right) \quad (5)$$

若将子载波 n_2 分配给用户 k , 则用户 k 在子载波 n_2 上传输的比特数为

$$b_{k,n_2} = \text{lb} \left(1 + \frac{P_{k,n_2} H_{k,n_2}^2}{s^2 \Gamma} \right) \quad (6)$$

用户 k 在子载波 n_1 和 n_2 上的信道增益分别为 H_{k,n_1} 和 H_{k,n_2} , 且有 $H_{k,n_1} > H_{k,n_2}$ 。由 b_{k,n_1}, b_{k,n_2} 可以看出, 不同子载波对用户 k 速率满足的影响, 且定义 $D = b_{k,n_1} - b_{k,n_2}$ 为速率影响因子, D 越大, 则子载波 n_1 对该用户的速率影响就越大, 将 n_1 分配给用户 k 就更易于满足用户的速率要求。当系统发射功率相同且具有相同的噪声功率时, D 可以表示为

$$D = b_{k,n_1} - b_{k,n_2} = \text{lb} \left(\frac{1 + \frac{P_{k,n_1} H_{k,n_1}^2}{s^2 \Gamma}}{1 + \frac{P_{k,n_2} H_{k,n_2}^2}{s^2 \Gamma}} \right) \quad (7)$$

当 $SNR \gg 1$ 时, 式(7)可以表示为

$$D = \text{lb} \left| \frac{H_{k,n_1}^2}{H_{k,n_2}^2} \right| = 2 \text{lb} \left| \frac{H_{k,n_1}}{H_{k,n_2}} \right| \quad (8)$$

因此通过考虑各个子载波对用户速率的影响, 通过比较不同用户速率增量的大小, 对子载波进行分配, 使用户的数据速率尽快得到满足, 且其分配过程只与速率影响因子有关, 即只与 $H_{k,n_1}/H_{k,n_2}$ 的比值有关, 为简化起见, 将速率影响因子用 $H_{k,n_1}/H_{k,n_2}$ 来表示。该算法首先根据 BABS 算法求得各用户为了满足其速率要求所需要的子载波数, 然后根据速率影响因子对子载波进行分配, 其流程如图 2 所示。

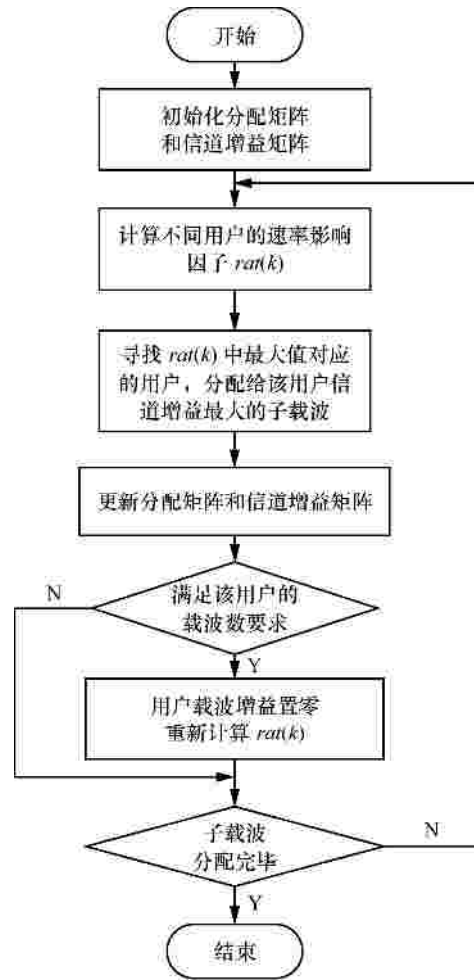


图 2 子载波分配流程

该算法的分配过程描述如下。

- 1) 初始化信道增益矩阵 $H_{K \times N}$ 和分配矩阵 $assign_{K \times N} = 0$, 并已知用户所需子载波个数 m_k 。
- 2) 将每个用户不同子载波上的信道增益按从大到小的顺序排列, 得到 $H_k = \{H_{k,n_1}, |H_{k,n_2}, \dots, |H_{k,n_N}\}$, 并计算该用户在子载波上的速率影响因子: $rat(k) = H_{k,n_1}/H_{k,n_2}$ 。
- 3) 寻找 $rat(k)$ 中速率影响因子最大的用户 k^* , 并将所对应信道增益最大的子载波 n^* 分配给用户。修正信道增益矩阵 $H_{K \times N}$ 和分配矩阵 $assign_{K \times N}$, 使 $H_{k^*,n^*} = 0 (k \in \{1, 2, \dots, K\})$, $assign_{k^* \times n^*} = 1$ 。
- 4) 计算该用户是否满足载波数要求。若 $\sum_{n=1}^N assign_{k^*,n} = m_{k^*}$, 则置 $H_{k^*,n} = 0, n \in \{1, 2, \dots, N\}$ 。
- 5) 判断子载波是否分配完毕, 如果还有未分配的子载波, 返回步骤 2)。
- 6) 子载波分配完毕, 算法结束。

3.2 比特分配

子载波分配过程中，根据用户的数据速率要求以及各用户在子载波上的信道衰减情况为每一个用户分配了合适的子载波。这一节将介绍一种比较快速的比特分配方案。

根据香农公式，子载波分配给用户时所分配的比特数与发射功率之间的关系可表示为

$$b = \text{lb} \left(1 + \frac{PH^2}{s^2\Gamma} \right) \quad (9)$$

其中， b 为指定用户在对应子载波上所分配的比特数， P 为发射功率， H 为用户在相应子载波上的信道增益。

由式(9)可得，对于用户 k 在子载波 n 上分配 $b_{k,n}$ 比特的数据时所需发射功率为

$$P_{k,n} = \frac{(2^{b_{k,n}} - 1)s^2\Gamma}{H_{k,n}^2} \quad (10)$$

则对于用户 k 在子载波 n 上多发一个比特所增加的发射功率为

$$\Delta P_{k,n}(b_{k,n} + 1) = \frac{(2^{b_{k,n}+1} - 1)s^2\Gamma}{H_{k,n}^2} - \frac{(2^{b_{k,n}} - 1)s^2\Gamma}{H_{k,n}^2} \quad (11)$$

$$\text{即} \quad \Delta P_{k,n}(b_{k,n} + 1) = \frac{2^{b_{k,n}}s^2\Gamma}{H_{k,n}^2} \quad (12)$$

由式(12)可得信号的发射功率增加量为比特数的增函数，根据以上增量以及每个子载波信道增益和用户的速率限制，本文提出的改进比特分配算法可以描述如下。

1) 根据每个用户所分配的子载波及其信道增益，对各子载波进行初始比特分配 $b_{k,n} = \left\lfloor \frac{H_{k,n}}{H_k} R_k \right\rfloor$ ，

其中， $H_k = \sum_{n \in N_k} H_n$ ， N_k 为分配给用户 k 的所有子载波的集合。

2) 判断 $\sum_{n \in N_k} b_{k,n}$ 是否满足用户的速率要求。如果 $\sum_{n \in N_k} b_{k,n} \neq R_k$ ，则对比特分配进行调整，调整过程如下。

当 $\sum_{n \in N_k} b_{k,n} < R_k$ 时，对分配给用户 k 的每个子载波，计算使其比特数增加 1 时所产生的功率增量

$\Delta P_{k,n}(b_{k,n} + 1)$ ， $n \in N_k$ ，取 $\Delta P_{k,n}(b_{k,n} + 1)$ 最小的子载波 j ，并使 $b_{k,j} = b_{k,j} + 1$ 。

当 $\sum_{n \in N_k} b_{k,n} > R_k$ 时，对分配给用户 k 的每个子载波，计算使其比特数减小 1 时所产生的功率减少量 $\Delta P_{k,n}(b_{k,n})$ ，取使功率减少量 $\Delta P_{k,n}(b_{k,n})$ 最大的子载波 j ，并使 $b_{k,j} = b_{k,j} - 1$ 。

3) 重复以上过程，直到各个用户达到其规定的速率要求。至此，分配算法结束。

3.3 基于分簇的子载波比特分配

以上算法主要是以子载波为单位进行子载波比特分配，虽然能够充分利用 MB-OFDM 超宽带系统多用户分集和频率选择性衰落的特点，但计算复杂度相对较高。根据文献[11,12]所提到的相邻子载波信道信息的相关性，本文提出了根据各个用户的速率需求，通过对子载波进行分簇来完成子载波和比特分配。

由文献[7]所得用户所需要子载波数 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_K\}$ ，以 L 为单位将子载波分为 T 组，则有 $T = \lfloor M/L \rfloor$ 。每个用户所需载波组的个数为： $D = \lfloor M/L \rfloor = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$ 。设用户 k 在载波组 t 第 l 个子载波上的信道增益为 $|g_{k,t,l}|$ ，则用户 k 在载波组 t 上的平均信道增益可用 L 个子载波的信道增益的算数平均值来近似表示：

$$G_{k,t} = \frac{\sum_{l=1}^L |g_{k,t,l}|}{L} \quad (13)$$

根据式(7)和式(8)，将载波组 t_1 和 t_2 分别分配给用户 k ，所得速率影响因子为

$$D = \text{lb} \left| \frac{G_{k,t_1}}{G_{k,t_2}} \right| \quad (14)$$

关于载波组的分配过程可以描述如下。

1) 根据每个用户所需子载波个数，得每个用户所需载波组数 $D = \lfloor M/L \rfloor = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$ 。

2) 将每个用户对应载波组的平均信道增益按从大到小的顺序排列，得 $G_k = \{|G_{k,t_1}|, |G_{k,t_2}|, \dots, |G_{k,t_T}|\}$ ， $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ 。由平均信道增益计算： $rat(k) = G_{k,t_1} / G_{k,t_2}$ 。

3) 寻找 $rat(k)$ 中数值最大的用户 k^* ，并将该用户对应平均信道增益最大的载波组 t^* 分配给该用

户。修正信道增益矩阵 $G_{K \times T}$ 和分配矩阵 $assign_{K \times T}$ 使 $G_{k,t} = 0$, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, $assign_{k,t} = 1$ 。

4) 计算该用户是否满足载波组数目需求。若满足, 置 $H_{k,t} = 0$, $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ 。

5) 载波组是否分配完毕, 如果还有未分配的载波组, 返回步骤 2)。

由于对用户所需载波组进行计算过程中存在向下取整的问题, 因此会有子载波未分配。用户也未满足其所需要的子载波数。将未分配的子载波, 按照单载波分配的方式分配给用户, 使用户满足其载波数目要求, 并使其所分配的子载波组数变为: $d_k = d_k + 1$ 。

6) 子载波分配完毕, 算法结束。

由于在子载波分配过程中, 子载波以载波组为单位按照平均信道增益进行分配, 因此当载波组中子载波数目较多时, 平均信道增益已经不能很好地表现子载波的信道状态, 在比特分配过程中, 根据用户数据速率要求必然会对信道条件相对较差的子载波也有比特分配, 从而增加了系统的发射功率。因此在比特分配完成以后, 通过进一步调整载波组中所分配的比特数目, 以降低系统的发射功率。比特的调整过程描述如下。

1) 初始化: 载波组分配完成以后, 按照用户速率要求, 按比例为每个子载波分配比特。

2) 对于分配给用户 k 的载波组集合 D_k , 将其平均信道增益按照从大到小的顺序排列: $\{|G_{t_{k1}}|, |G_{t_{k2}}|, \dots, |G_{t_{kd_k}}|\}$ 。

3) 对于用户 k , 寻找其所分配载波组中平均信道增益最大和最小的载波组 t_{k1} 和 t_{kd_k} , 其平均信道增益分别为 $G_{k,t_{k1}}$ 、 $G_{k,t_{kd_k}}$, 计算载波组 t_{k1} 增加 1 个比特所需要增加的功率 $DP_{k,t_{k1}}(b_{k,t_{k1}} + 1)$ 和 t_{kd_k} 减小 1 个比特的功率减小量 $DP_{k,t_{kd_k}}(b_{k,t_{kd_k}} - 1)$, 若 $DP_{k,t_{k1}}(b_{k,t_{k1}} + 1) < DP_{k,t_{kd_k}}(b_{k,t_{kd_k}} - 1)$, 交换用户的比特信息, 使 $b_{k,t_{k1}} = b_{k,t_{k1}} + 1$, $b_{k,t_{k2}} = b_{k,t_{kd_k}} - 1$ 。

4) 重复步骤 3), 直到 $DP_{k,t_{k1}}(b_{k,t_{k1}} + 1) > DP_{k,t_{kd_k}}(b_{k,t_{kd_k}} - 1)$, 遍历所有用户。

3.4 复杂度分析

由以上描述可知, 本文是通过分布实现子载波和比特分配来完成整体的资源分配过程, 表 1 给出

了两步法、RBS 算法、改进算法和分簇的改进算法的复杂度。

表 1	算法复杂度
算法	复杂度
两步法	$O(KN \log N) + O(N \log N)$
RBS 算法	$O(KN \log N) + O(N \log N)$
改进算法	$O(KN \log N) + O(N \log N)$
基于分簇的改进算法	$O(KN \log(N/L)/L) + O(N \log(N/L)/L)$

从表 1 中可以看出, 未分簇的改进算法相比于原有算法具有相同的复杂度, 基于分簇的改进算法复杂度优于以上 3 种算法。

4 仿真性能分析

本节通过仿真实验研究了所提出的分配算法的性能, 并与其他算法相比较, 证明了本算法的优越性。仿真环境为多用户 OFDM 超宽带系统, 使用的信道为 IEEE 802.15.3a 研究小组所提出的典型的超宽带信道^[13], 本文采用 CM1 信道的参数标准。该系统采用固定的 QPSK 调制方式, 每个子载波最多调制 2 个比特的信息, 每个子频段中子载波数目为 128 个。系统采用 MATLAB 仿真环境。

下面首先对未分组的改进子载波比特分配算法、两步法以及 RBS 算法进行性能比较。

图 3 给出了在用户数目分别为 2、3、4、5、6、7、8 时的平均比特信噪比性能。由于发射功率与平均比特信噪比成比例, 因此可以使用平均比特信噪比来比较不同的算法的功率消耗情况。从图中可以看出, 由于多用户分集作用的影响, 随着用户数目的增多, 3 种算法对于每一比特进行可靠传输所需要的 SNR 都呈减少的趋势。相比与 RBS 算法和两步法, 本文所提算法有较为明显的性能优势。当用户数目等于 2 时, 改进算法相比于两步法具有 2.2dB 的优势, 这主要是因为子载波分配过程中, 改进算法充分考虑了用户之间的公平性, 使用户都能分配到相对较好的子载波, 避免了信道条件差的用户只能分配较差子载波的现象。而相比于 RBS 算法, 改进算法有 0.9dB 的性能优势, 这主要是因为所提算法根据各个子载波对用户速率的贡献, 能将用户速率增加最快的子载波首先分配给用户, 且根据用户速率按比例对比特进行分配, 使用户速率得到最快满足。

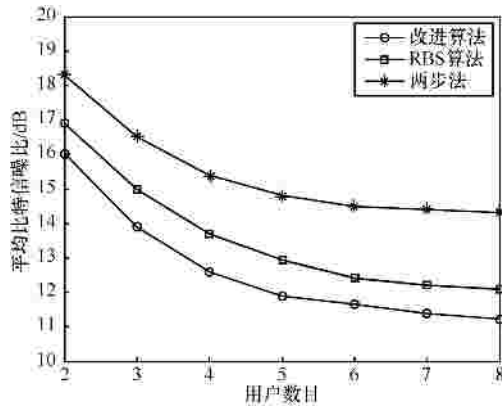


图 3 不同用户个数对系统性能的影响

图 4 和图 5 分别给出了用户数目分别为 2 和 4 时 3 种算法的误码率性能随平均比特信噪比的变化曲线图。由图中可以看出，RBS 算法和改进算法明显优于两步法，而改进算法相对于 RBS 算法也有比较明显的性能优势。随着用户数目的增多，这种优势越来越明显。这主要是因为改进算法和 RBS 算法都考虑到相对最优用户的信道，使子载波分配更加灵活。而改进算法同时又考虑到了用户速率的影响。

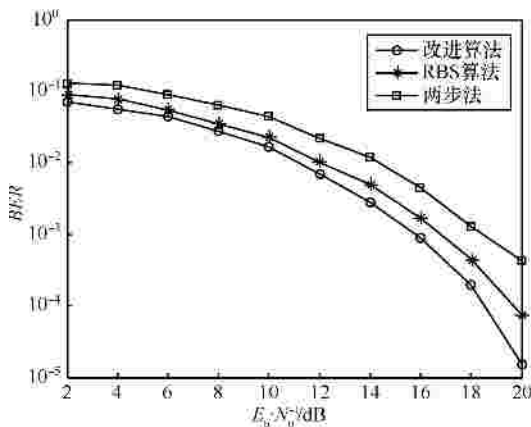


图 4 用户数为 2 时 3 种方法的性能比较

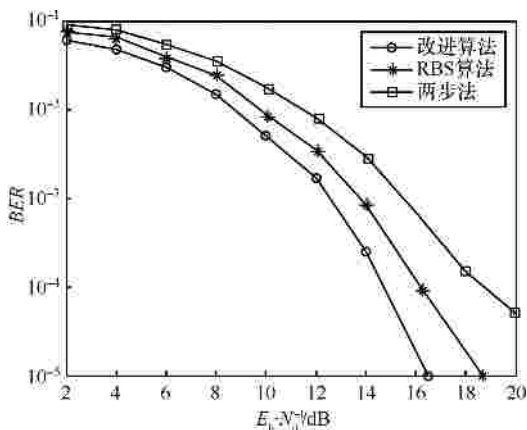


图 5 用户数为 4 时 3 种方法的性能比较

从图 5 可以看出，在 $BER=10^{-3}$ 的情况下，当用户数目为 4 时，改进算法相比于两步法有 2.9dB 的性能优势，而相比于 RBS 算法有 1.2dB 的性能优势。

图 6 给出了改进算法在用户数目分别为 2、4 和 8 的情况下，平均比特信噪比的误码率性能比较。从图中可以看出，随着用户数目增多，相同误码率所对应的信噪比呈减小的趋势，当误码率为 10^{-3} 时，8 用户的平均比特信噪比相比于 4 用户要减少约 2.1dB，比 2 用户减少 5.7dB。这主要是充分运用了多用户分集的作用。在多用户环境下，由于信道衰落是不确定的，不同用户在相同子载波上的衰减情况各不相同，且在无线通信系统中，对于超宽带系统中每个子载波所处于深度衰落的概率是一定的，因此根据不同用户在各个子载波上的信道状态信息，各用户都能够选择自己相对比较好的子载波，从而使子载波得到合理利用。

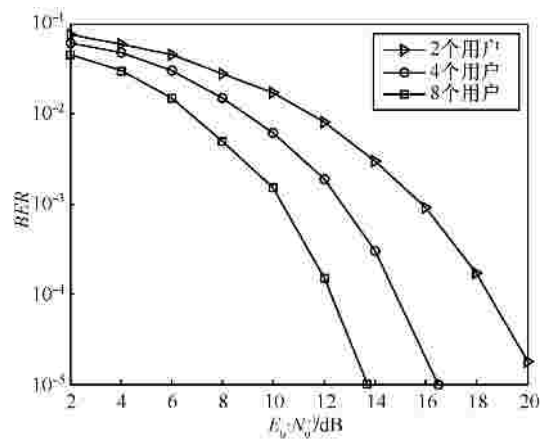


图 6 不同用户数目下误码率性能

下面通过仿真对分簇方法与未分簇的方法进行比较，并得到不同分簇方法下系统性能的仿真图。

图 7 给出了不同用户在子载波不同分组的情况下进行可靠数据传输所需的平均比特信噪比。从图中可以看出，随着分组的增加，平均比特信噪比呈上升的趋势，这主要是因为子载波分配过程中，以平均信道增益进行子载波分配和比特分配，使在计算过程中，随着分组中载波数目的增加，所计算的平均信道增益相比于原始值的差距会越来越大，从而产生信噪比误差，由此造成的性能损耗也越来越严重。当用户数目为 4 时，在未采用分组即 $L=1$ 时相比于 $L=2、3、4、5$ 时，

性能损耗分别为 0.2dB、1dB、1.7dB 和 2.9dB。在分配过程中，随着用户数目的增加，平均比特信噪比呈下降的趋势，这主要是运用了多用户分集对系统性能产生的影响。

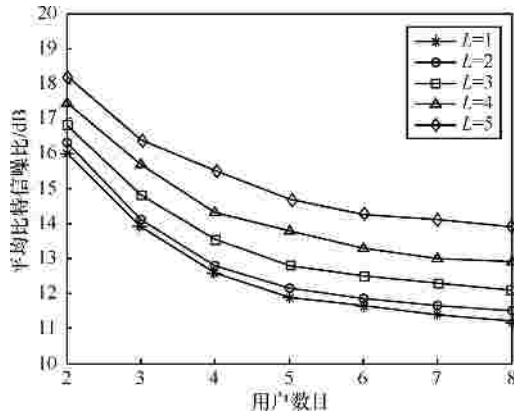


图 7 不同分组下的平均比特信噪比性能

图 8 给出了当用户数目为 2 时，不同分组的误码率性能比较。从图中可以看出，当用户数目相同时，随着分组数目的增加，系统性能呈下降趋势。 $L=1$ 时即为系统未分组时的性能与 $L=2$ 时相比较，系统性能并没有较大损失，这主要是因为相邻子载波之间具有相似的衰落性能，当分组数目很小时，相邻两子载波的性能相近，因此平均信道增益基本上能够很好地表现出 2 个子载波的性能。但是随着分组数目的增加，平均信道状态信息已经不能很好地表现每个子载波的性能，因此损失较为严重。当误码率为 10^{-3} 时， $L=5$ 时相比与未分组的分配方案，约有 2.3dB 的性能损失，因此在进行分簇过程中，应该合理对子载波进行分组，且不能使每个分组的子载波无限制地增大。

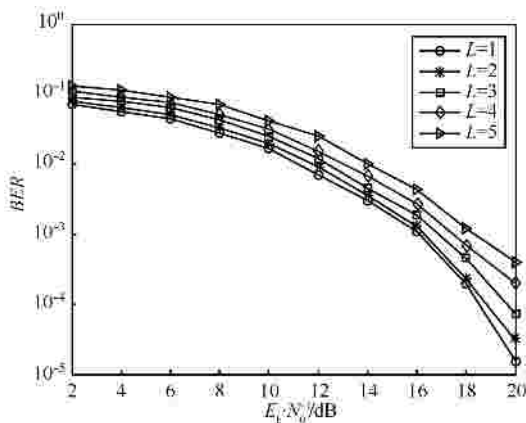


图 8 用户数为 2 时不同分组的性能

5 结束语

本文提出了一种以发射功率最小化为优化目标的动态资源分配算法。该算法在满足用户速率要求和误码率限制条件下，通过分步来完成子载波和比特分配。在子载波分配过程中，根据速率影响因子对子载波进行分配；在比特分配过程中，根据各个用户的速率需求提出了一种快速的比特分配算法。为了进一步降低系统的复杂度，提出了以载波组为单位来完成子载波和比特分配的方法。通过仿真实验对未分簇的子载波比特分配算法和其他算法进行比较，结果表明该算法能够降低系统的误码率和单位比特功耗；通过将未分簇算法与分簇算法相比较，结果表明分组的大小和用户数目对系统性能有影响，且在相同用户数目的情况下，较小的分组对系统性能具有较小的影响。

参考文献：

- [1] BALAKRISHNAN J, BATRA A, DABAK A. A multi-band OFDM system for UWB communication[J]. IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, 2003, 21(2):354-358.
- [2] 王雪. OFDM-UWB 系统定时同步与频偏估计算法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [3] WANG X. Study on the Algorithms of Timing Synchronization and Frequency offset Estimation for OFDM-UWB Systems[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [4] BATRA A. Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a[S]. IEEE P802.15-03/2683, 2004.
- [5] JANG J, LEE B, LEE Y H. Transmit power and bit allocation for OFDM systems in a fading channel[A]. IEEE Global Telecommunications Conference[C]. San Francisco, USA, 2003:858-862.
- [6] HUGHES-HARTOGS D. Ensemble Modem Structure for Imperfect Transmission Media[P]. US, 1987.
- [7] WONG C Y, CHENG R S, LATAIEF K B. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation[J]. IEEE JASC, 1999, 17(1):1747-1758.
- [8] KVIANCE D, LIU H. Subcarrier allocation and power control for OFDMA[A]. Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers[C]. Pacific Grove, 2000:147-151.

- [8] CHOW P S, CIOFFI J M, BINGHAM J A C. A practical discrete multitone transceiver loading algorithm for data transmission over spectrally shaped channels[J]. IEEE Transactions on Communications, 1995, 43(2):773-775.
- [9] KHALIL A, CRUSSIÈRE M, HELARD J F. Spectrum allocation optimization scheme for heterogeneous multiuser UWB systems[A]. Second International Workshop on Cross Layer Design, IWCLD'09[C]. 2009.1-6.
- [10] LI S P, TIAN X F, LI M. Study on subcarrier and power allocation algorithm for downlink transmission in multiuser OFDM system[J]. Computer Science and Computational Technology, 2008, 2:259-298.
- [11] 董伟杰. 多媒体通信中多带 UWB 动态资源分配研究[D]. 北京: 中国科技大学, 2006.
- DONG W J. Study on the Dynamic Resource Allocation of Multi-Band UWB in Multimedia Communications[D]. Beijing: University of Science and Technology of China, 2006.
- [12] 杨婷婷, 张淑芳, 孙忠华. 协作分簇多频带超宽带系统资源优化分配算法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2010,28(4):252-258.
- YANG T T, ZHANG S F, SUN Z H. Resource Allocation Algorithm of Cooperative Clustered MB-OFDM-UWB System[J]. Journal of Jilin University (Information SciEd), 2010,28(4):252-258.
- [13] Foerster. Channel Modeling Sub-Committee Report Final[R]. IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANS), 2003.

作者简介：



程超 (1984-), 男, 吉林长春人, 吉林大学博士生, 主要研究方向为无线网络资源分配。



钱志鸿 (1957-), 男, 吉林长春人, 吉林大学教授、博士生导师, 主要研究方向为近程无线网络通信技术、无线传感器网络技术、RFID (射频识别) 技术、UWB (超宽带) 通信技术和物联网等。



李春兰 (1985-), 女, 山东巨野人, 吉林大学硕士生, 主要研究方向为超宽带资源分配。



王雪 (1984-), 女, 吉林靖宇人, 吉林大学博士生, 主要研究方向为超宽带同步技术。