

动态选择消息更新的 SCMA 多用户检测算法

谢 欢 胡艳军 蒋 芳

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽合肥 230039)

摘 要: 稀疏码多址接入(SCMA)是上行链路(UP)无线空口技术之一, 消息传递算法(MPA)是 SCMA 多用户检测的主要方法。MPA 算法迭代更新所有码字消息, 所有消息概率收敛后迭代结束。因此, MPA 算法复杂度较高。针对这一问题, 本文利用各消息概率收敛速度不同的特点, 提出了一种动态选择消息更新的 SCMA 多用户检测算法。在每次迭代中找出收敛最快的码字消息, 由于这些消息已接近收敛值, 剩余迭代将不再更新这些消息, 从而减少了复杂度。从仿真结果看, 选择合适的比重因子, 本文算法误比特率(BER)性能与 MPA 算法基本相同, 算法复杂度明显降低。

关键词: 稀疏码多址接入; 消息传递算法; 码字消息; 动态选择; 比重因子

中图分类号: TN929.5 文献标识码: A DOI: 10.16798/j.issn.1003-0530.2018.07.007

Multuser Detection Scheme for SCMA Systems with Dynamically Selecting Message to Update

XIE Huan HU Yan-jun JIANG Fang

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei, Anhui 230039, China)

Abstract: Sparse Code Multiple Access (SCMA) is one of the up-link (UP) air-interface technologies for wireless. The Message Passing Algorithm (MPA) is the main method of multiuser detection in SCMA systems. The MPA updates the all codeword messages with iteration. After probabilities of all messages have converged, the iteration is over. So the MPA has a high degree of complexity when all messages are updated in each iteration. In order to solve this problem, an scheme of multiuser detection for SCMA based on dynamically selecting message to update is proposed in this paper by using the characteristic of the probability of each codeword message has different rate of convergence. Codeword messages with fast rate were found in each iteration and would not be updated in later iterations because they were close to convergence, other codeword messages continued to update. So the complexity of proposed scheme was decreased. Simulation results showed that compared with the MPA, the Bit Error Rate (BER) performance of the proposed scheme was almost the same as that of the MPA, and the complexity of the algorithm was significantly reduced when the appropriate gravity factor was chosen. Therefore, the proposed scheme has obvious advantage in the application of SCMA systems when the hardware complexity is reduced and performance is maintained.

Key words: sparse code multiple access (SCMA); message passing algorithm (MPA); codeword message; dynamic selection; gravity factor

1 引言

第五代移动通信(5G)^[1]被提出以满足更高的

业务要求,非正交多址技术(Non-orthogonal Multiple Access, NOMA)^[2]频谱效率较高,因此成为 5G 的一个备选方案。作为 NOMA 技术的一种,从低密度信

号(Low Density Signature, LDS)^[3]发展来的稀疏码多址接入(Sparse Code Multiple Access, SCMA)^[4]技术,可利用码字的稀疏性得到较高的接入量。因为接收的是各用户码的叠加信号,所以要进行多用户检测。由于码字是稀疏的,因此可用消息传递算法(Message Passing Algorithm, MPA)^[5]进行检测。

但MPA的高计算复杂度限制了SCMA技术的实际应用。影响复杂度的因素有算法的迭代次数、码本大小、系统因子图中的分支数等。文献[6]通过简化星座图来减小码本大小。文献[7-8]在每次迭代中将节点消息的更新顺序重新编排,越靠后更新的节点消息越有效,因此减少了迭代次数。文献[9-10]根据信道条件差异,将信道条件差的分支近似为高斯噪声,同时添加反馈机制来弥补性能的下降,通过减少分支来降低复杂度。文献[11]提出了一种基于动态因子图的MPA检测器,因子图中置信度较高的分支从当前迭代开始将不参与消息传递。文献[12]提出了一种部分边缘化的MPA(Partial Marginalization-Message Passing Algorithm, PM-MPA),迭代结束前将部分用户数据先解出来,在后续迭代中再解出剩余用户数据,牺牲了一部分性能的同时带来了复杂度下降的收益。

以上文献中算法的节点更新方法基本一致,各节点将其概率分布状态传递给相邻节点,从而改变相邻节点的概率分布状态。所有节点消息更新后,进入下一轮节点消息更新。当所有节点的码字消息概率收敛后迭代结束,接着进行软解码。因为每次迭代要更新所有码字消息,所以复杂度较高。基于实验的研究发现,一些节点比其他节点收敛快^[8],意味着各码字消息的收敛速度不同。针对这一特点,为降低算法复杂度,本文提出了一种动态选择消息更新的检测算法DSM-MPA(Dynamically Select Message-Message Passing Algorithm, DSM-MPA)。不同于文献[8],本文算法在单次迭代中,不再更新因子图中的所有节点消息,只选择更新收敛较慢的节点消息,通过减少消息更新次数来降低算法复杂度。消息若收敛快,则其概率变化量小而接近收敛值,可直接用于软解码。仿真结果表明,选择合适的比重因子,相比较于原始MPA,本文算法的复杂度明显下降,同时误比特率(Bit Error Rate, BER)性能基本不

变。在实际应用中可降低上行链路接收机设计复杂度,同时保证性能。

本文其余部分安排如下:第2节简述SCMA系统模型及MPA算法;第3节给出本文的改进算法;第4节对仿真结果进行性能比较分析;最后第5节给出结论。

2 系统模型

2.1 SCMA系统模型

假定有 J 个用户共享 K 个资源块($J>K$),则该系统的过载系数定义为 $\lambda=J/K$ 。对于每个用户 j ,其比特数据与此用户码本 χ_j 中的SCMA码一一对应, χ 的维度是 K 。码本中的SCMA码表示为 \mathbf{x}_j 。 K 维SCMA码中非零元素个数为 $N, N<K$ 。系统模型如图1所示,这里 $J=6, K=4$ 。其中, \mathbf{F} 是系统因子图矩阵,行表示资源块,列表示用户,值为1的位置表示此位置所在行的资源块被所在列的用户所使用。

接收信号可写为:

$$\mathbf{y} = \sum_{j=1}^J \text{diag}(\mathbf{h}_j) \mathbf{x}_j + \mathbf{n} \quad (1)$$

其中, $\mathbf{x}_j = [x_{1j} \ x_{2j} \ \dots \ x_{Kj}]^T$ 为用户 j 的SCMA码, $\mathbf{h}_j = [h_{1j} \ h_{2j} \ \dots \ h_{Kj}]^T$ 为用户 j 的信道条件向量, \mathbf{n} 是高斯白噪声, $\mathbf{n} \sim CN(0, \sigma^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{y} = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_K]^T$ 是接收端从 K 个资源块中检测到的信号。

由接收信号 \mathbf{y} 和信道条件 $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \dots \ \mathbf{h}_J]^T$,就可通过最大后验概率估计算法(Maximum A Posteriori, MAP)来检测用户数据 $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_J]$,如式(2):

$$\hat{\mathbf{X}} = \arg \max_{\mathbf{X} \in (\times_{j=1}^J \chi_j)} p(\mathbf{X} | \mathbf{y}) \quad (2)$$

式中, $(\times_{j=1}^J \chi_j) = \chi_1 \times \dots \times \chi_J$ 。

2.2 原始MPA

假定系统中6个用户共用4个资源块。MPA的消息传递如图2所示, u_j 是用户 j 在因子图中的节点, c_k 为资源块 k 在因子图中的节点。单个 u_j 和单个 c_k 的连接称为一个边缘,码字消息在边缘上传递。MPA主要有两步:步骤1如式(3), $M'_{c_k \rightarrow u_j}(\mathbf{x}_{jm})$ 表示 c_k 到 u_j 的码字消息更新;步骤2如式(4), $M'_{u_j \rightarrow c_k}(\mathbf{x}_{jm})$ 表示 u_j 到 c_k 的码字消息更新:

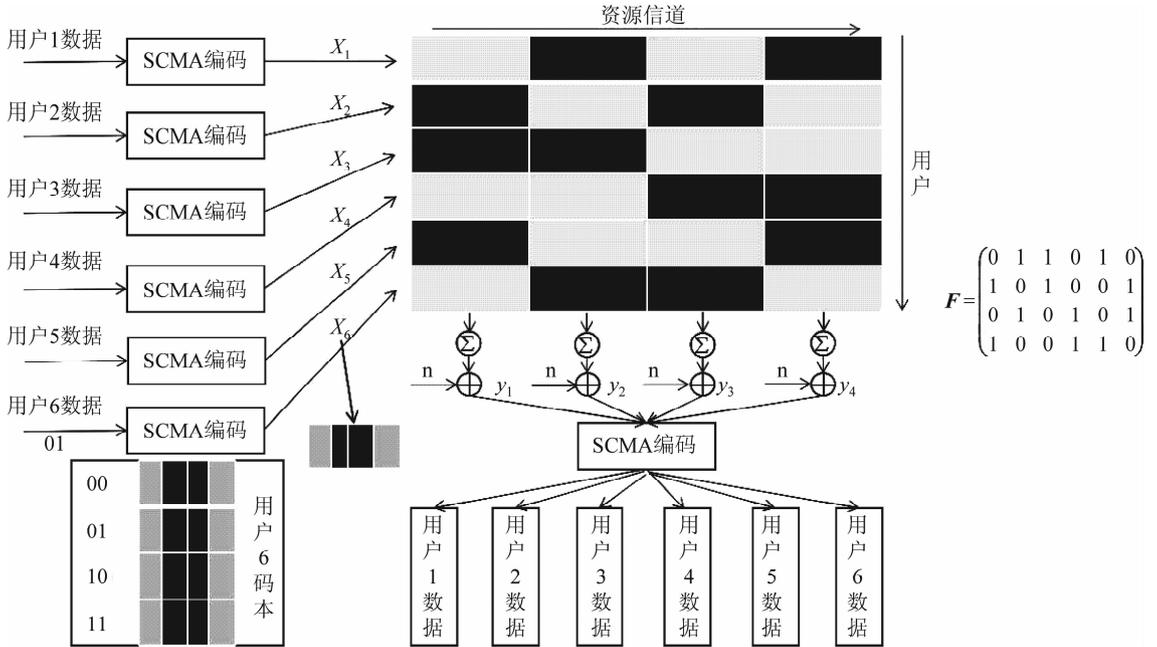


图 1 SCMA 系统模型

Fig.1 Model of SCMA system

$$M'_{c_k \rightarrow u_j}(\mathbf{x}_{jm}) = \sum_{\mathbf{x}_{jm}} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left\| y_k - \sum_{p \in \xi_k} \mathbf{h}_{k,p} \mathbf{x}_{k,p} \right\|^2\right) \cdot \prod_{l \in \xi_k / \{j\}} M_{u_l \rightarrow c_k}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm}) \right\} \quad (3)$$

$$M'_{u_j \rightarrow c_k}(\mathbf{x}_{jm}) = \prod_{q \in \xi_j / \{k\}} M_{c_q \rightarrow u_j}(\mathbf{x}_{jm}) \quad (4)$$

其中, t 表示第 t 次迭代, ξ_k 是与资源块 k 连接的用户序号集合, ξ_j 是用户 j 所占用的资源块序号集合, $\mathbf{x}_{jm} \in [\mathbf{x}_{j1} \mathbf{x}_{j2} \dots \mathbf{x}_{jM}]^T$ 为用户 j 码本中第 m 个码字。 y_k 为资源块 k 上检测的信号, σ 是噪声的标准差, $\mathbf{h}_{k,p}$ 和 $\mathbf{x}_{k,p}$ 分别是资源块 k 与用户间的信道条件向量和用户码。

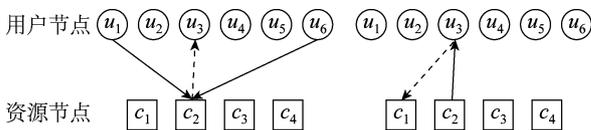


图 2 MPA 算法示意图, 实线表示来自其他边缘的先验概率, 虚线表示边缘上消息的更新

Fig.2 Scheme diagram of MPA. The solid line indicates the prior probability from other edges. The dashed line indicates the update of the message at the edge

MPA 达到最大迭代次数 T 后, 各用户码字 \mathbf{x}_{jm} 出现的概率 $Q(\mathbf{x}_{jm})$ 用式(5)来计算:

$$Q(\mathbf{x}_{jm}) = \prod_{k \in \xi_j} M_{c_k \rightarrow u_j}^T(\mathbf{x}_{jm}) \quad (5)$$

3 本文提出的算法

原始 MPA 迭代更新所有码字消息, 直到每个码字消息收敛。所以, MPA 算法复杂度较高。实际上, 有些码字消息可以更快地接近收敛值, 对这些消息继续更新, 所得的概率值变化量小。因此, 可以有选择地更新收敛较慢的消息, 提前结束更新收敛快的消息。因为退出更新的消息已接近收敛, 所以可直接用于软解码。在保持性能的同时, 通过减少消息更新次数来降低计算复杂度。

3.1 动态选择消息更新的 MPA

针对以上问题, 本文提出了一种动态选择消息更新的 MPA。在保持 BER 性能与原始 MPA 基本相同的情况下, 可明显降低算法复杂度。

算法基本思想是: 第一次迭代更新所有码字消息; 从第二次迭代开始, 对参与此次迭代的消息, 用式(6)来计算迭代前后消息的差值 $D'(\mathbf{x}_{jm})$:

$$D'(\mathbf{x}_{jm}) = |M'_{c_k \rightarrow u_j}(\mathbf{x}_{jm}) - M_{c_k \rightarrow u_j}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})| \quad (6)$$

若差值小, 则表明此消息的变化量较小, 收敛速度较快。将所有 $D'(\mathbf{x}_{jm})$ 值按大小排序, 选出差值最小的 N_i^t 个码字消息。这 N_i^t 个码字消息将被判为收敛

最快,在后续迭代中将不更新。定义 R 为比重因子,被判为差值最小的消息数 \mathbf{Ni}^t ,用式(7)来计算:

$$\mathbf{Ni}^t = R \cdot \mathbf{Na}^t \quad (7)$$

\mathbf{Na}^t 是参与第 t 次迭代的消息数。定义 $\mathbf{ni}^{t-1} = [D^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_1, D^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_2, \dots, D^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{Ni}^{t-1}}]$ 为前次迭代中选出的收敛最快消息集合。 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})$ 为前次迭代中未被判为收敛最快的码字消息, $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$ 为前次迭代中被判为收敛最快的码字消息。式(8)中,改写 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$ 为 $M_{c_k \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$,表示此消息将不再更新:

$$M_{c_k \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm}) = M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} = M_{c_k \rightarrow u_j}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} \quad (8)$$

所以,只需更新消息 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$,式(3)和式(4)分别改写为式(9)和式(10):

$$M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} = \sum_{\mathbf{x}_{jm}} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left\| \mathbf{y}_k - \sum_{p \in \xi_k} \mathbf{h}_{k,p} \mathbf{x}_{k,p} \right\|^2 \right) \cdot \prod_{l \in \xi_k \setminus \{j\}} M_{u_l \rightarrow c_k}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm}) \right\} \quad (9)$$

$$M_{u_j \rightarrow c_k}^t(\mathbf{x}_{jm}) = \prod_{q \in \xi_j \setminus \{k\}} M_{c_q \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm}) \cdot M_{c_q \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm}) \quad (10)$$

比重因子 R 取值合适,对于判为收敛快的消息 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$,其概率分布可达到或接近稳态。因此,这些消息可不再更新,将这些消息传递到用户节点的更新,各用户节点仍能和MPA算法一样最终收敛于一个稳态。最后,通过软解码检测出各用户数据。算法过程如表1。

表1 动态选择消息更新的MPA算法

Tab.1 MPA based on dynamically selecting message to update

一、输入: $\mathbf{y}, \mathbf{H}, \mathbf{T}, \sigma^2, R$

二、初始化:

$$1. M_{j \rightarrow k}^0(\mathbf{x}_{jm}) = \frac{1}{M}$$

$$2. \text{ap}_j \leftarrow \frac{1}{M}, t=1, \mathbf{ni}^0 \subseteq \emptyset$$

三、更新所有消息:

3. while $t \leq T$ do

4. if $t=1$ do

$$5. \Phi_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left\| \mathbf{y}_k - \sum_{p \in \xi_k} \mathbf{h}_{k,p} \mathbf{x}_{k,p} \right\|^2 \right)$$

续表1

6. Use formula (3) to update all $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})$

7. Use formula (4) to update all $M_{u_j \rightarrow c_k}^t(\mathbf{x}_{jm})$

8. else do

四、选择消息更新:

$$9. M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} = \sum_{\mathbf{x}_{jm}} \left\{ \Phi_n \cdot \prod_{l \in \xi_k \setminus \{j\}} M_{u_l \rightarrow c_k}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm}) \right\}$$

$$10. M_{c_k \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm}) = M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} = M_{c_k \rightarrow u_j}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$$

$$11. M_{u_j \rightarrow c_k}^t(\mathbf{x}_{jm}) = \prod_{q \in \xi_j \setminus \{k\}} M_{c_q \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm}) M_{c_q \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$$

12. end if

$$13. \text{do } D^t(\mathbf{x}_{jm}) = \left| M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} - M_{c_k \rightarrow u_j}^{t-1}(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} \right|$$

14. create aggregate \mathbf{ni}^t

15. $t = t+1$

16. end while

五、消息输出

$$17. Q(\mathbf{x}_{jm}) = \prod_{k \in \xi_j} M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}} M_{c_k \rightarrow u_j}^*(\mathbf{x}_{jm})_{\mathbf{ni}^{t-1}}$$

3.2 复杂度分析

当用户码本大小为 M ,资源节点数为 K ,每个 c_k 上所连接的边缘数为 d_s 。MPA的算法复杂度可表示为 $O(M^{d_s} K d_s T)^{[9]}$,主要计算量来自 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})$ 的 $MKd_s T$ 次消息更新。本文通过减少消息更新次数来降低复杂度。 d_u 是单个 u_j 上连接的 c_k 数,有 $Kd_s = Jd_u$ 。在消息 $M_{c_k \rightarrow u_j}^t(\mathbf{x}_{jm})$ 更新中,第 t 次迭代有 $\mathbf{Na}^t = (1-R)^{t-1} \cdot MKd_s$ 个码字消息要更新。若总迭代次数为 T ,则本文算法所需更新的码字消息次数为 $MKd_s \cdot \sum_{t=1}^T (1-R)^{t-1}$ 。因此,DSM-MPA的算法复杂度可表示为 $O(M^{d_s} K d_s \sum_{t=1}^T (1-R)^{t-1})$ 。

本文算法与原始MPA^[9]以及PM-MPA^[12](m 和 R_s 是算法中的参数)可用表2来比较复杂度,以算法执行的加法和乘法次数为衡量标准。

4 仿真结果与分析

为了验证本文算法在上行SCMA无线通信系统中的性能,将本文算法与原始MPA以及PM-MPA进行了仿真比较实验。仿真参数如表3所示。

表 2 复杂度比较

Tab. 2 Comparison of complexity

算法	MPA	DSM-MPA	PM-MPA
加法	$((d_s+1)M^{d_s}-M) \cdot Kd_s T$	$((d_s+1)M^{d_s}-M)Kd_s \cdot \sum_{t=1}^T (1-R)^{t-1}$	$mKd_s[(d_s+1)M^{d_s}-M] + R_s d_s [(d_s+1)M^{d_s \frac{R}{d_u}} - M](T-m) + (K-R_s)d_s [(d_s+1)M^{d_s}-M](T-m)$
	$(2d_s+1)M^{d_s}Kd_s T + MJd_u T(d_u-2)$	$(2d_s+1)M^{d_s}Kd_s \cdot \sum_{t=1}^T (1-R)^{t-1} + MJd_u T(d_u-2)$	$(d_s-2)TJd_u M + (2d_s+1)mKd_s M^{d_s} + R_s d_s M^{d_s \frac{R}{d_u}} + (2d_s+1)(T-m) + (K-R_s)d_s M^{d_s}(2d_s+1)(T-m)$

表 3 仿真参数

Tab. 3 Parameters of simulation

参数	取值
用户数 J	6
码本大小 M	4
资源块数 K	4
信道类型	高斯白噪声信道
d_s	3
d_u	2

4.1 性能分析

在图 3 中,最上面的五条曲线是原始 MPA,PM-MPA ($m=3, R_s=2$) 以及本文算法(前两者算法曲线用实线表示,本文算法用虚线表示)在 E_b/N_0 取 8 dB 时的收敛情况;最下面五条曲线是各算法在 E_b/N_0 取 10 dB 时的收敛情况。本文算法取 $R=0.2$ 和 0.3 时,收敛性与原始 MPA 和 PM-MPA 一致,迭代 6 次后收敛。本文算法 R 取 0.4 时,3 次迭代后大多消息已不再更新,因此相比于原始 MPA 会提前收敛。但 R 取值比较大时,判为收敛快的消息中有很多未达到收敛条件。提前停止更新这些消息,会使后面软解码误差较大,造成 BER 性能大幅下降。由图 3、图 4 可知,当信道条件较差 ($E_b/N_0 \leq 8$ dB),噪声对消息传递的干扰较大,为保证 BER 性能, R 取值应该小 ($R \leq 0.2$);当信道条件较好 ($E_b/N_0 \geq 8$ dB) 时噪声

小,对消息传递的干扰小,少数迭代后趋于收敛的消息多,所以 R 可取较大值 ($R \geq 0.2$)。但为保障 BER 性能, R 取值应小于 0.3。

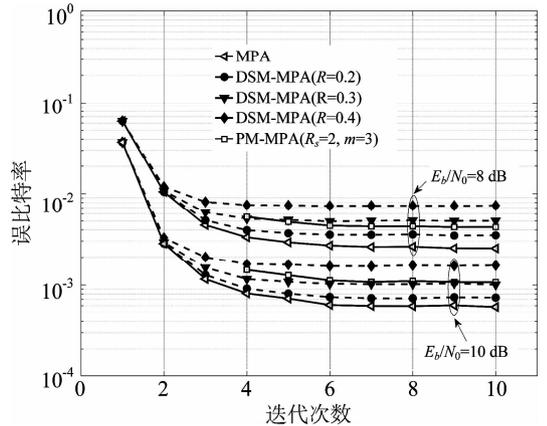


图 3 各算法收敛速度

Fig. 3 Convergence rate of various algorithm

比重因子 R 取值若越小 ($R \leq 0.2$),对于迭代中被判为收敛快的消息,其前后迭代的差值就越小。因此,这些消息的概率分布也更容易趋于稳态。这些不更新的消息越接近收敛,其他消息更新得到的收敛值与原始 MPA 的就更接近。因此,图 4 中本文算法 BER 性能会与原始 MPA 更接近。反之, R 取值越大 ($R \geq 0.2$),收敛快的消息中不满足收敛条件的就越多。停止更新这些消息会使其他消息难以收敛到原始 MPA 的值,消息可靠性就越低,BER 性能将越差。

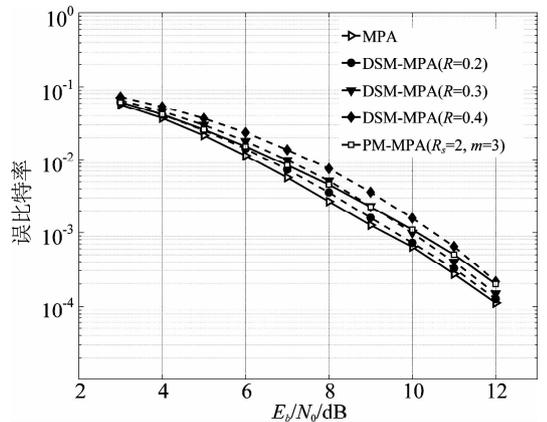


图 4 各算法性能

Fig. 4 Performance of various algorithm

图 4 中各算法迭代次数都为 $T=6$ 。在 $BER = 1.0 \times 10^{-3}$ 时,取 $R=0.2$,每次迭代中被判为收敛快的消息数较少。前面提到, R 取值越小 ($R \leq 0.2$),这些消息的概率分布更接近稳态,可直接传递给其他消息的后

续更新,对其他消息收敛到原稳定值影响小。因此,所有消息的最终概率分布接近于原始 MPA。所以,此时本文算法 BER 性能基本和原始 MPA 一致;和 PM-MPA 算法相比,本文算法有 0.5 dB 左右的增益。因为 PM-MPA 是直接提前解特定用户的数据,此用户消息可能依然与稳定值相差较远,已收敛消息的准确性不如本文算法。因此,选择合适的 R ,本文算法的 BER 性能要优于 PM-MPA 算法。 R 取 0.3 和 0.4 时,由于 R 取值较大,本文算法的性能损失较多,相比原始 MPA 分别下降了 0.7 dB 和 1.2 dB。

4.2 复杂度对比

由表 2 中各算法复杂度可知,比重因子 R 取值越大,本文算法相比于其他两种,复杂度就越低。由图 3、图 4 可知,为有效地降低算法复杂度,同时保障 BER 性能,取比重因子 $R=0.2$,迭代次数 $T=6$ 。结合表 2,如表 4 所示,原始 MPA、PM-MPA ($m=3, R_s=2$) 及本文 ($R=0.2$) 算法所执行的加法次数分别为 18144 次、14688 次和 11156 次;执行的乘法次数分别为 32256 次、26496 次和 19834 次。本文算法相比于原始 MPA,加法次数减少了约 38.5%,乘法次数减少了约 38.5%。PM-MPA 为保障解码性能,提前解出的用户节点数是很有限制的,相比于本文算法可以降低的复杂度有限。与 PM-MPA 相比,本文算法的加法次数减少了约 24.0%,乘法次数减少了约 25.1%。综上所述,参数 R 取 0.2 比较合理。此时,BER 性能基本与原始 MPA 一致,优于 PM-MPA,同时复杂度都明显低于这两种算法。

表 4 各算法复杂度比较
Tab. 4 Comparison of complexity

算法	MPA	PM-MPA	DSM-MPA
加法复杂度/次	18144	14688	11156
乘法复杂度/次	32256	26496	19834

5 结论

原始 MPA 每次迭代会更新所有码字消息,直到所有码字消息概率收敛后迭代结束,因此复杂度较高。为降低复杂度,针对不同码字消息概率的收敛速度不同,本文提出了一种动态选择消息更新的 DSM-MPA 算法。在当次迭代中找出收敛最快的码字消息,这些消息将不再更新,通过减少消息更新次数来降低复杂度。选择合适的比重因子,可使

BER 性能基本与原始 MPA 一致,并且复杂度更低;和 PM-MPA 相比,不仅复杂度较低,且性能也有优势。所以,本文算法在 SCMA 系统的应用中优势明显,可降低接收机设计复杂度,同时可以保持性能。但该算法仍存在一些不足,如比重因子 R 的选择固定。当信道条件变化时,每次迭代中选出的不更新的消息,就带有随机和波动性。有些消息实际并未收敛或接近收敛,这将给解码带来较大误差。因此,可设定硬性的收敛判定条件,以更有效地选择已收敛的消息不更新。可弥补由随机和波动性带来的性能损失,并可适应信道变化。

参考文献

- [1] Pirinen P. A brief overview of 5G research activities[C]//1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity, Akaslompolo, Finland, 2014: 17-22.
- [2] Benjebbour A, Saito Y, Kishiyama Y, et al. Concept and practical considerations of Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) for future radio access[C]//2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Naha, Japan, 2013: 770-774.
- [3] Hoshyar R, P. Wathan F R, Tafazolli R. Novel Low-density Signature for synchronous CDMA systems over AWGN channel[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2008, 56(4): 1616-1626.
- [4] Nikopour H, Baligh H. Sparse code multiple access[C]//2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, UK, 2013: 332-336.
- [5] 雷菁,文磊,高永强. 基于联合判决消息传递机制的 LDPC 码译码算法研究[J]. 信号处理, 2009, 25(12): 1917-1921.
Lei J, Wen L, Gao Y Q. A decoding algorithm based on joint judging message passing schedule for Low-Density Parity Check Codes[J]. Signal Processing, 2009, 25(12): 1917-1921. (in Chinese)
- [6] Bayesteh A, Nikopour H, Taherzadeh M, et al. Low complexity techniques for SCMA detection[C]//2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). San Diego, CA, USA, 2015: 1-6.
- [7] 杜洋,董彬虹,王显俊,等. 基于串行策略的 SCMA 多用户检测算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(8): 1888-1893.

- Du Y, Dong B H, Wang X J, et al. Multiuser detection scheme for SCMA systems based on serial strategy [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2016, 38(8): 1888-1893. (in Chinese)
- [8] Du Y, Dong B H, Chen Z, et al. A fast convergence multiuser detection scheme for uplink SCMA systems[J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2016, 5(4): 388-391.
- [9] Du Y, Dong B H, Chen Z, et al. Low complexity detector in sparse code multiple access systems [J]. IEEE Communications Letters, 2016, 20(9): 1812-1815.
- [10] Wang Y D, Qiu L. Edge selection-based low complexity detection scheme for SCMA system[C]//2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). Montreal, QC, Canada, 2016: 1-5.
- [11] Ma X Y, Yang L, Chen Z, et al. Low complexity detection based on dynamic factor graph for SCMA systems[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(12): 2666-2669.
- [12] Mu H, Ma Z, Alhaji M, et al. A fixed low complexity message pass algorithm detector for up-link SCMA system [J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2015, 4

(6): 585-588.

作者简介



谢欢 男,1994年生,安徽马鞍山人。安徽大学研究生,主要研究方向是无线通信。

E-mail:2540080246@qq.com



胡艳军 女,1967年生,安徽淮南人。安徽大学教授、博士生导师,主要研究方向是无线通信。

E-mail:yanjunhu@ahu.edu.cn



蒋芳 女,1981年生,安徽黄山人。安徽大学讲师,主要研究方向是无线通信。

E-mail:jiangfang@ahu.edu.cn