

复数 SAR 图像的块自适应多级矢量量化压缩^①喻 言^{②*} ** 王贞松^{*}

(* 中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

(** 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要 研究了在空间域进行复数合成孔径雷达(SAR)图像的压缩,提出了结合块自适应矢量量化(BAVQ)和多级矢量量化(MSVQ)技术各自优点的块自适应多级矢量量化(BAMSVQ)压缩算法。该算法因 SAR 复数图像的实部和虚部数据在一定采样规模下具有近似高斯分布的特性,可以运用 BAVQ 编码;而上一级编码后的残差数据由于已经进行了一定程度的去相关性,根据中心极限定律也具有近似高斯分布特性,因而也可进行块自适应的矢量量化编码,由此可形成 BAVQ 的多级方案。另外由于实虚部归一化的高斯分布块数据具有相同的分布特性,因此可以共享码书,节省存储资源与传输数据量。仿真结果验证了该算法的有效性。在相同的压缩比下,与前两种空间域压缩算法相比,该算法提升了性能,降低了计算复杂度,节省了计算时间和资源占用量。

关键词 合成孔径雷达(SAR), 图像压缩, 块自适应矢量量化(BAVQ), 多级矢量量化(MSVQ), 码书共享

0 引 言

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)图像相比普通光学图像具有尺寸较大、数据动态范围较大、空间相关性较低、相干斑噪声严重等特点^[1], 压缩难度较大。而 SAR 往往采用星载或机载平台, 当前远距离无线传输的技术瓶颈极大地限制了其传输带宽,这使得研究 SAR 图像的压缩具有很大的现实意义。目前 SAR 图像压缩主要继承了针对普通光学图像压缩设计的各种算法,主要包括以离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)算法及其衍生算法为代表的变换域压缩方案^[2,3]和以矢量量化(vector quantization, VQ)为代表的空间域压缩方案^[4,5]。变换的主要目的是通过可逆变换将图像的信息聚集于低频区域(子带)内,进一步消除信息冗余,为后续的量化和熵编码带来便利,提高压缩效率。但由于 SAR 图像具有很大的图像熵,信息在变换域各子带内的分布相比普通光学图像要分散得多,降低了编码效率,并且在较大压缩比下细节损失

较为严重。而 VQ 在较大压缩比下的优良性能以及能较好地保留信号细节的优势^[6],使之在 SAR 图像及其原始数据压缩上获得了广泛应用^[7,8]。

传统的块自适应矢量量化(block adaptive VQ, BAVQ)算法针对高斯分布信源量化性能较好,但具有计算量大、存储空间占用多、计算耗时较长等缺点,限制了其在计算资源紧张条件下的应用。这一点对于硬件处理设备重量、体积以及功耗等都受到严格限制的 SAR 平台尤为重要。而多级矢量量化(multi-stage VQ, MSVQ)则在很大程度上能够有效降低传统 VQ 的计算负担。但是对于数据动态范围较大的 SAR 图像而言,设计 MSVQ 的码书又成了很大的问题。本文在结合 BAVQ 和 MSVQ 各自优点的基础上,利用了 SAR 图像实虚部的 VQ 编码级间残差数据同样具有高斯分布的特性,提出了块自适应多级矢量量化(block adaptive MSVQ, BAMSVQ)算法,不仅有效地降低了传统算法的计算资源占用,也使得 VQ 的性能获得了提升,为高斯信源数据的量化算法设计提供了新的思路。

① 总装备部预研资助项目。

② 1982 年生,博士生;研究方向:实时信号处理;E-mail: yuyan@ict.ac.cn
(收稿日期:2013-07-16)

1 SAR 图像数据分布特性

1.1 SAR 复数图像实虚部统计特性

根据 SAR 成像原理,在均匀区域,假设一个分辨单元内不存在占主导地位的点散射体,则此分辨单元的总回波 V 可以分解为同相和正交两个分量,即有

$$V = A_I \cos \omega t + A_Q \sin \omega t \quad (1)$$

其中 A_I 和 A_Q 分别表示同相和正交项的幅度。由于回波的斑点噪声是由许许多多散射单元的散射回波的矢量叠加形成的,则由中心极限定理有 A_I 和 A_Q 近似服从独立同高斯分布^[1]:

$$p(A_I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(A_I - a_I)^2}{2\sigma_I^2}\right) \quad (2)$$

$$p(A_Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(A_Q - a_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) \quad (3)$$

$a_I, a_Q, \sigma_I^2, \sigma_Q^2$ 分别表示 A_I 和 A_Q 的均值和方差。

1.2 量化块大小选择

量化块的大小即信源采样点的数目,是观察数据分布与进行数据压缩处理的重要参数。采样点太少则不能充分体现出数据的分布特性,太多又会因

为囊括进的主导散射点过多而使得数据的分布平稳性受到破坏。合适的块大小能够尽可能地使得块内数据的分布符合理论分布。

衡量样本分布与理论分布之间回归程度的常用指标包括相关性系数 (correlation coefficient, Corr) 以及拟合优度 (goodness of fit, GoF) 用下式定义:

$$\text{Corr} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

$$\text{GoF} = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

其中, $\hat{Y}_i$ 为样本值, Y_i 为理论值, $\bar{Y}$ 为样本均值。对于一元回归的情况,拟合优度就是相关系数 R 的平方。

实验图像如图 1 所示,选用了不同几何特性及散射系数的区域,包括山脉、平原、农田、湖泊、城区、道路等具有代表性的常见地形地貌。对上述实验图像的实虚部分别计算不同块大小下块内实际分布与理论高斯分布的相关系数及拟合优度,取平均值结果如图 2 所示。

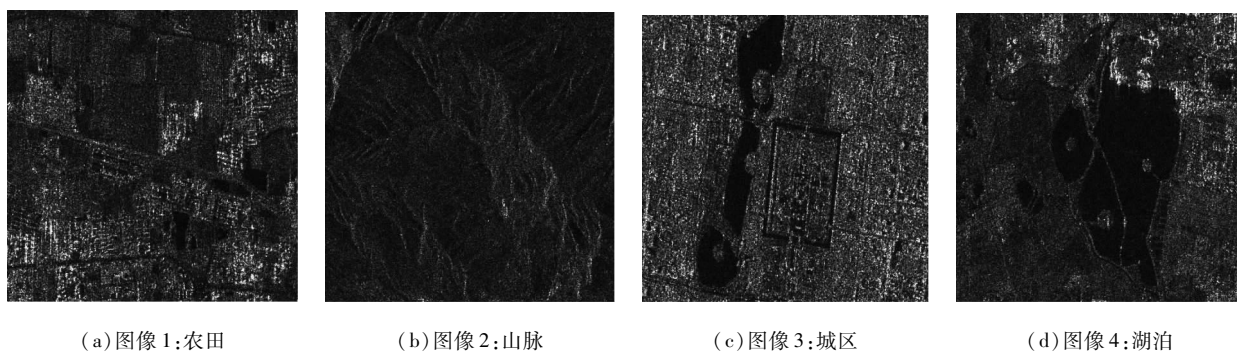
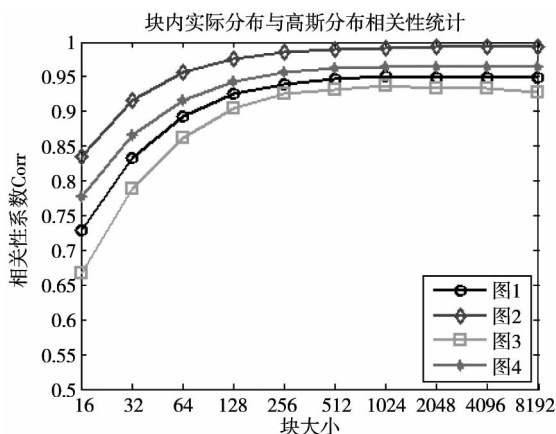
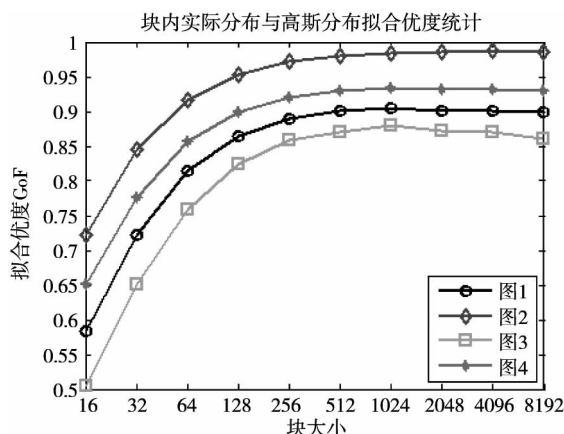


图 1 实验用 SAR 图像



(a) 相关性系数 Corr 统计



(b) 拟合优度 GoF 统计

图 2 块内实际分布与高斯分布的 Corr 与 GoF 统计

统计结果表明,块内数据在合适的块大小下符合高斯分布。结合计算资源占用与计算复杂度等因素综合考虑,32×32 是比较合适的分块大小。

2 矢量量化(VQ)算法原理

2.1 VQ

VQ 是标量量化的 k 维欧几里德空间推广^[9]。其失真测度一般都采用平方欧几里德距离,而相应的均方误差用来描述压缩编码系统的性能。由 Lloyd-Max 最优标量量化理论推知最优矢量量化器需满足最近邻条件和质心条件两个判断条件^[10]。

2.1.1 最近邻条件(最佳划分)

设给定的码书为 $C = \{\vec{y}_0, \vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_{N-1}\}$, 大小为 N 。最佳划分空间 $\{R_0, R_1, \dots, R_N\}$ 应满足

$$R_i = \{\vec{x} \mid d(\vec{x}, \vec{y}_i) = \min_{0 \leq j \leq N-1} d(\vec{x}, \vec{y}_j), \vec{x} \in X\} \quad (6)$$

即对于每一个被划进 k 维矢量空间 R_i 中的矢量 $\vec{x}$, 其与码字 $\vec{y}_i$ 之间的距离在和码书 C 中所有码字 $\vec{y}_j$ 之间的距离当中唯一最近。换句话说,若 $\vec{x}$ 与 $\vec{y}_i$ 之间的距离是所有码字中唯一最近的,则该输入矢量 $\vec{x}$ 一定划归到胞腔 R_i 中。通常把这种最佳划分叫做 Voronoi 划分,对应的子集 R_i 称为 Voronoi 胞腔, $\vec{y}_i$ 为该胞腔的码字。

2.1.2 质心条件(最佳码书)

在给定 Voronoi 胞腔划分的条件下,最优码书的码字 $\vec{y}_i$ 为胞腔 R_i 的质心,由所有质心构成最优码书。其计算式为

$$\vec{y}_i = \frac{1}{\|R_i\|} \sum_{\vec{x} \in R_i} \vec{x} = \frac{1}{M} \sum_{\vec{x} \in R_i} \vec{x} \quad (7)$$

其中, M 为胞腔 R_i 中矢量的个数。

一般来说,通过以上两个条件互相迭代即可设计出具有局部最优的矢量量化器。这个互相迭代的过程也叫 Linde-Buzo-Gray (LBG) 算法^[11], 是最常见的 VQ 码书优化算法。

2.2 块自适应矢量量化(BAVQ)

由于普通光学图像一般熵值都较低,像素间具有较强的相关性,而图像场景又千变万化,所以通常不具备特定的分布特性。而 SAR 图像由于实虚部都具有相似的高斯分布特性,所以 VQ 算法在 SAR 数据压缩方面有非常广泛的应用^[12]。

BAVQ 的基本原理是先将图像进行分块,再除以标准差进行归一化,得到统一具有标准差为 1 的

块数据。对于 BAVQ 最常见的分布是零均值高斯分布,归一化后的数据近似标准高斯分布,对于整点数字信号处理(DSP)的硬件实现,可以根据其高斯分布对块内数据进行 Lloyd-Max 最优标量量化,消除像素点的概率密度函数相关性,然后对量化后数据进行 VQ,实现较大倍率的压缩。

2.3 多级矢量量化(MSVQ)

MSVQ 是一种级联的 VQ 技术。在对原始图像进行 VQ 编码之后,将原始图像减去 VQ 重建图像可以得到这一级 VQ 编码的误差图像或者称残差图像。为了减小最终的重建误差,可以对残差图像再进行一次 VQ 编码。这样,误差得到了减小,但编码后数据量也多出了第二次 VQ 编码的数据量。重复此过程,可以得到更多次(更多级)的 VQ 编码。VQ 的级数可以根据需要增加,但一般情况下 2 级或者 3 级 VQ 即可满足性能要求,更多的级数会面临更复杂的计算却换来较小性能提升的尴尬^[13]。

一个 2 级 MSVQ 的结构框图如图 3 所示。 $\vec{x}$ 为待编码原始矢量, $\vec{y}_1$ 为第一级 VQ 后的重建矢量, $\vec{e}$ 为第一级 VQ 后的残差矢量, $\vec{y}_2$ 为 $\vec{e}$ 进行第二级 VQ 后的重建矢量,由 $\vec{y}_1$ 和 $\vec{y}_2$ 相加组成最终的重建矢量 $\vec{y}$ 。级数更高的 MSVQ 按照第 2、3 级的流程增加即可。

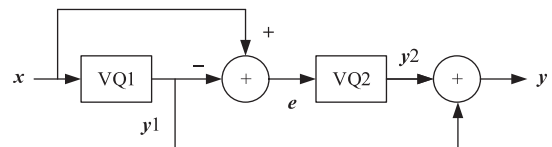


图 3 2 级 MSVQ 结构框图

相对单级 VQ, MSVQ 减小了总码书的尺寸,并且使搜索复杂度大大降低,具体分析见 4.3 节。

3 块自适应多级矢量量化(BAMSVQ)

3.1 级间残差数据分布统计特性

根据 VQ 的特性,经由聚类后各 Voronoi 胞腔内的矢量集合质心所形成的码字体现了该胞腔内矢量间在各个维度上的分布相关性,因此原始图像经过一级 VQ 之后得到的残差图像也就去掉了这部分的线性相关性。从统计的角度看,残差数据的随机性得到了增强。对于相关性已经得到很大降低的残差数据而言,根据中心极限定理,当采样点足够多,即分块足够大时,残差数据将近似符

合高斯分布。

对图 1 中的 4 幅实验图像使用同样的 32×32 分块、同样的矢量维度、同样的码书尺寸、同样的训练集及同样的统计步长做一级 VQ 后的残差数据统计分析,得到的结果如表 1 所示

表 1 残差数据与同方差高斯分布的相关性及拟合优度统计

	图像 1	图像 2	图像 3	图像 4
平均相关系数 Corr	0.9663	0.9827	0.9621	0.9779
平均拟合优度 GoF	0.9341	0.9658	0.9266	0.9559

可以看出,残差数据分布与高斯分布具有高度的近似,这说明在二级 VQ 时可以采用基于高斯分布的 BAVQ 算法来去除数据的概率密度函数相关性。

3.2 BAMSVQ 算法框架

结合 3.1 节的分析,再将前述 BAVQ 算法与 MSVQ 算法组合起来即可形成 BAMSVQ 算法的框架,整体框架如图 4 所示。简单来说,就是将每一级的 VQ 算法采用 BAVQ 即可。以性能和计算量综合考虑,BAMSVQ 分两级进行。第一级对原图像的实虚部进行分块然后除以标准差做归一化,将归一化后的值做 VQ。第二级的残差图像同第一级一样,先进行分块除以标准差进行归一化,然后将归一化后的值做 VQ。需要传送的每一级数据包括各块标准差、VQ 码书以及 VQ 索引。

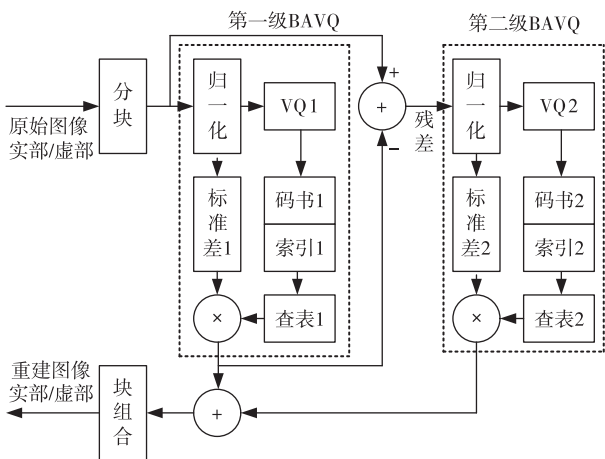


图 4 BAMSVQ 算法框图

当各级进行完归一化处理之后为标准高斯分布,所以各级系统在进行 VQ 时,可以只用一个固定

的码书,这样就节省了上传数据量和重新训练码书的时间及计算资源。

3.3 码书共享的改进方案

由前述分析可知,原图像的实虚部近似符合同参数的高斯分布。另外根据 3.1 中的实虚部级间残差数据分布特性的观察可知,待 VQ 编码的下一级实虚部残差数据也具有近似高斯分布的特性。而归一化后的高斯分布数据具有相同的数学期望和标准差,为同分布形态,数据的动态范围也相同,所以具备码书共享的条件。

使用实部训练出的码书进行编码和使用虚部训练出的码书进行编码,实际编码结果显示,两种码书使用方式压缩结果非常接近,从而说明了码书共享的可行性。

码书共享的优势一是节省了一半的码书训练时间,而码书的训练是整个 VQ 编解码中最耗时的部分之一。二是节省了一半的码书存储空间和一半的码书下传数据量,而同时性能又没有太大的降低,具有重要的实际意义。

4 实验结果评估与分析

实验选用的 4 幅图像均为 512×512 大小的实虚部各 2 字节 short 型,总数据量 1MB 的复数 SAR 图像。实验环境:计算机 CPU 为 Intel T7200 2.0 GHz,内存为 3G,Matlab 版本为 7.1。下面将分别从压缩总体效果、重建图像质量和算法复杂度三方面进行评估与分析。

4.1 压缩实验结果

常用的评价实值幅度图像的压缩解压缩性能的指标是峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR),定义为

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{M \times N \times MAX_I^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2} \right) \quad (8)$$

其中, I 为原始图像, K 为重建图像, (i,j) 为图像坐标, M 和 N 为图像的尺寸, MAX_I 为原始图像 I 的最大像素值。

对于复数图像的压缩解压缩性能的评价需要兼顾实部和虚部,也即幅度和相位的联合失真情况。常用的指标包括平均复值空域相关性系数 (average complex spatial correlation coefficient, ACSCC) 和平均相位相关性系数 (average phase correlation coefficient, APCCC)。

cient, APCC)^[14], 其定义分别为

$$ACSCC = \frac{1}{MN} \cdot \sum_f \sum_g \frac{\left| \sum_i \sum_j f(i,j) \cdot g^*(i,j) \right|}{\sqrt{\sum_i \sum_j f(i,j)^2 \cdot \sum_i \sum_j g(i,j)^2}} \quad (9)$$

和

$$APCC = \frac{1}{MN} \cdot \sum_f \sum_g \frac{\left| \sum_i \sum_j f_p(i,j) \cdot g_p^*(i,j) \right|}{\sqrt{\sum_i \sum_j |f_p(i,j)|^2 \cdot \sum_i \sum_j |g_p(i,j)|^2}} \quad (10)$$

其中, f 和 g 分别为原始和重建的复数图像, g^* 为 g 的共轭图像, f_p 和 g_p 分别为原始与重建的相位数据。 i 和 j 分别为像素 $f(i,j)$ 和 $g(i,j)$ 的邻域内坐标, 这里取 5×5 邻域, 图像边缘像素邻域做补零处理。以上两式的假设条件是邻域内均值为 0, 对 SAR 复数图像通常成立。两种相关性系数的取值范围是 $[0, 1]$, 当原始图像和重建完全一致时值为 1, 完全没有关联时值为 0。

由于对于相关性弱的随机信源, 平均地看, 随机选择方法也能得到一个较好的码书^[15], 所以 VQ 采用随机生成初始码书方法与 LBG 迭代。当矢量维度为 8 时, 进行压缩比为 7 : 1 的压缩, 结果如图 5 所示。其中, rcsBAMSVQ 为实部 (real part) 码书共享 (codebook sharing, CS) 的改进 BAMSVQ 算法, icsBAMSVQ 为虚部 (imaginary part) 码书共享 (CS) 的改进 BAMSVQ 算法。

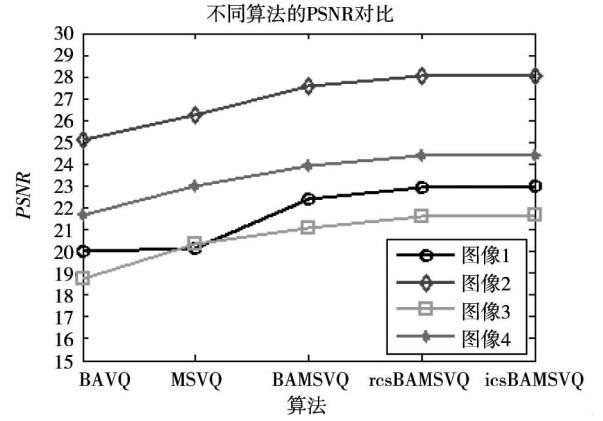
当矢量维度为 16 时, 进行 10 : 1 的压缩, 结果如图 6 所示。

实验结果表明, 采用码书共享的改进 BAMSVQ 获得了最高的 PSNR、ACSCC 以及 APCC, 而 BAMSVQ 在大部分情况下也具有较好的性能。另外, 当压缩比减小时, BAMSVQ 对残差的处理可以更加精细, 性能改善幅度更大, 也更能体现出分级处理的优势。

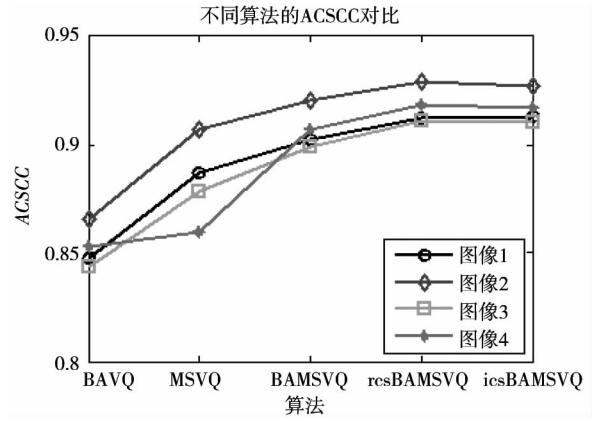
4.2 压缩质量评价

使用码书共享的改进 BAMSVQ 算法压缩原始图像并解压缩之后结果见图 7。通过与图 1 的原始幅度图像的对比可以看出, 无论是山脉的山脊、道路的方向、建筑的形状还是农田与水域的轮廓等几何特征都没有发生畸变, 点线目标均得到了较好保留,

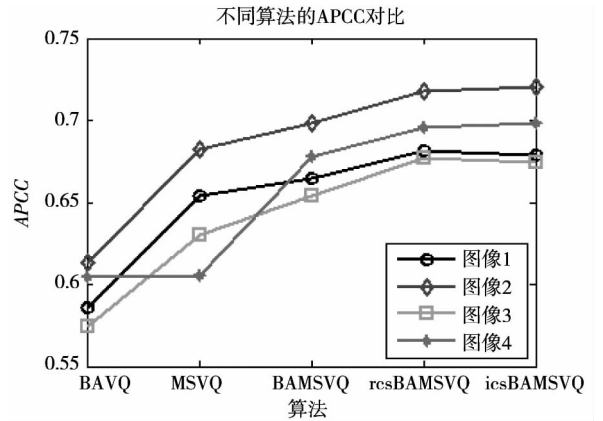
相对灰度值也没有发生较大的失真, 体现了 VQ 算法对图像细节保留良好的特性。



(a) PSNR 对比



(b) ACSCC 对比



(c) APCC 对比

图 5 压缩比为 7 : 1 时实验结果

4.3 算法复杂度对比分析

对于 VQ, 当矢量维度、码书尺寸以及训练集均相同时, 码书训练迭代一次的计算量是一定的。不考虑任何码字搜索优化算法, 待编码矢量需要遍历

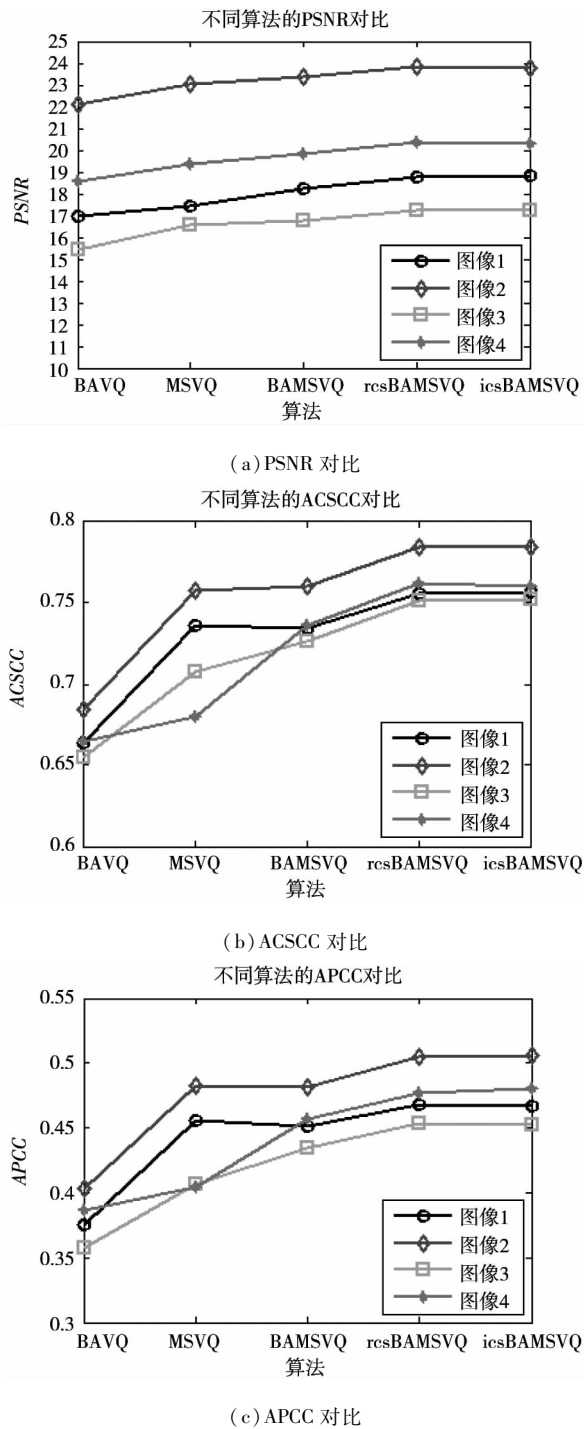


图6 压缩比为10:1时实验结果

码书中所有码字。以此前提比较各算法利用已经训练好的码书进行编解码复杂度与存储量大小。

假定VQ矢量维度为 K ,码书尺寸为 C 。实部或虚部的单级VQ每编码一个矢量需要进行 C 次欧式距离计算、 $C-1$ 次比较,解码一个矢量需要进行 C 次查表。多级VQ每编码一个矢量需要进行 $(C_1 + C_2)$ 次欧式距离计算、 $(C_1 - 1) + (C_2 - 1)$ 次比较和 K 次减法(加法),解码一个矢量需要进行 $(C_1 + C_2)$

次查表与 K 次加法。一般的有 $C_1 + C_2 < C$,这就使得多级VQ计算量小于单级VQ。以上一次欧式距离计算需要进行 $2K-1$ 次加法和 K 次乘法。

以7:1的压缩为例, $K=8$,BAVQ的 $C=1024$,MSVQ的 $C_1=512, C_2=32$,BAMSQ的 $C_1=256, C_2=128$,csBAMSQ的 $C_1=256, C_2=256$ 。这4种算法的计算复杂度分别如表2所示。

表2 各算法编解码计算次数

	乘法	加法	比较	查表
BAVQ	16384	4094	2046	2048
MSVQ	8704	2206	1084	1088
BAMSQ	6144	1566	764	768
csBAMSQ	8192	2078	1020	1024

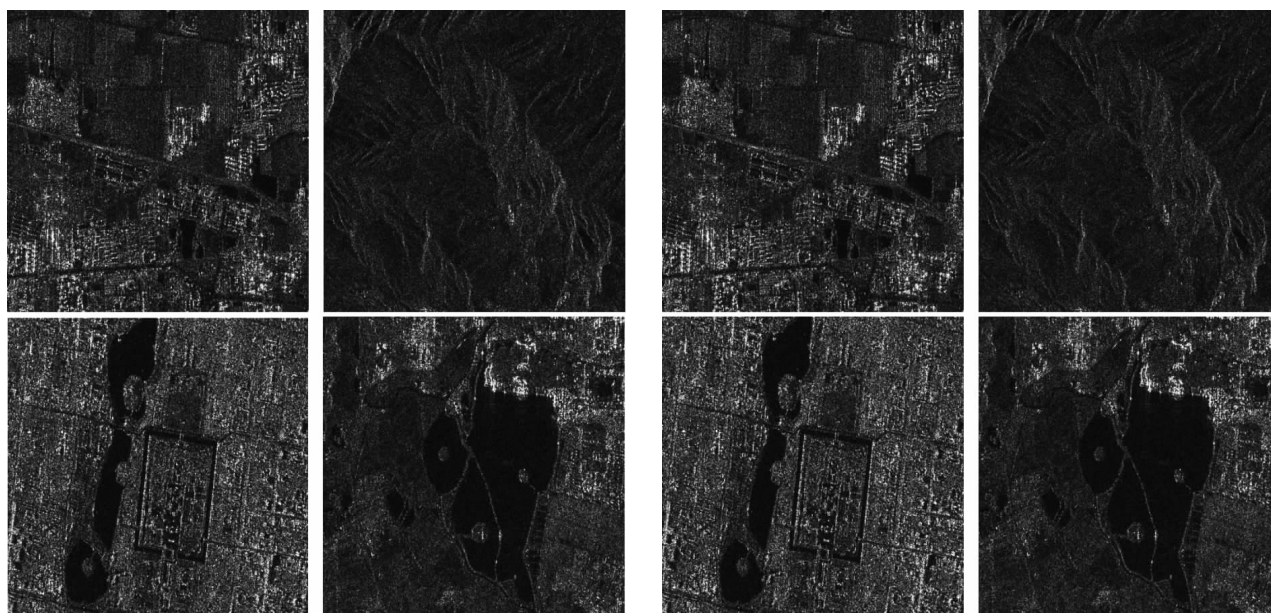
可以看出,BAVQ的计算复杂度最高,其次是MSVQ,BAMSQ计算复杂度最低,csBAMSQ高于BAMSQ而略低于MSVQ。

对于码书的存储空间(byte),单级VQ为 $2 \cdot 4 \cdot C \cdot K$ (Byte),多级VQ为 $2 \cdot 4 \cdot (C_1 + C_2) \cdot K$ (Byte),而csBAMSQ为 $4 \cdot (C_1 + C_2) \cdot K$ (Byte)。以7:1压缩为例,四种算法码书存储分别占用65536B、8704B、6144B、4096B。BAVQ占用存储空间最大,而csBAMSQ占用存储空间最小。

对各算法在进行7:1压缩时的VQ编解码实际计算时间进行统计,结果如表3所示。

表3 各算法编解码时间

	BAVQ	MSVQ	BAMSQ	csBAMSQ
图像1 T_{VQ1} (s)		5.627	3.126	3.115
图像1 T_{VQ2} (s)		0.872	1.664	3.086
$T_{\text{总}}$ (s)	14.613	6.466	4.790	6.201
图像2 T_{VQ1} (s)		5.289	2.982	2.995
图像2 T_{VQ2} (s)		0.773	1.468	3.045
$T_{\text{总}}$ (s)	12.218	6.062	4.452	6.040
图像3 T_{VQ1} (s)		5.587	3.173	3.083
图像3 T_{VQ2} (s)		0.886	1.564	3.005
$T_{\text{总}}$ (s)	13.892	6.473	4.737	6.088
图像4 T_{VQ1} (s)		5.448	3.062	3.172
图像4 T_{VQ2} (s)		0.839	1.497	3.085
$T_{\text{总}}$ (s)	13.009	6.289	4.561	6.257



(a) 压缩比为 7 : 1 时的重建图像 1-4

(b) 压缩比为 10 : 1 时的重建图像 1-4

图 7 改进的 BAMSVM 算法重建幅度图像

可以看出,多级 VQ 的总体计算时间小于单级 VQ,而 csBAMSVM 算法的二级 VQ 时间有所增加是因为在压缩比一定的条件下,可以使用更长的码书来提高压缩性能所致,但总体仍然小于单级 VQ。

5 结 论

本文结合 BAVQ 和 MSVQ 算法各自的优点,利用了复数 SAR 图像实虚部以及各自级间残差数据的高斯分布特性提出了 BAMSVM 的算法。并根据归一化后的实虚部及其残差数据具有一致的分布特性进行了码书共享的改进。实验结果表明,新的算法有效地降低了计算复杂度,减少了计算资源的占用,节约了计算时间,并在此基础上使量化编码性能获得了提升。

由于此算法是针对具有高斯分布特性数据设计的,因此同样也适用于具有同样分布特性的 SAR 原始数据的压缩。对于将编码过程使用整数 DSP 硬件实现的情况,在算法中加入针对高斯分布的 Lloyd-Max 量化器进行标量量化即可。而由于残差数据也近似高斯分布,所以各级的标量量化器在硬件实现上完全可以复用或复制,为算法的硬件实现带来了方便。另外,如果想进一步降低计算复杂度,还可增加更多的 VQ 级数。

参考文献

- [1] John C Curlander, Robert N McDonough. Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc, 1991. 50-55
- [2] Hou X S, Yang J, Jiang G F, et al. Complex SAR image compression based on directional lifting wavelet transform with high clustering capability. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 51(1): 527-538
- [3] Chen D Y, Luan E J, Tu G F. SAR imagery coding based on blocking high frequency energy matching. *High Technology Letters*, 2009, 15(4): 378-383
- [4] Agrawal N, Venugopalan K. SAR image compression based on piecewise linear mapping algorithm. In: *Proceedings of the 6th European Radar Conference*, Rome, Italy, 2009. 557-560
- [5] 邓云凯, 张惠亮. 基于改进矢量量化的 SAR 图像压缩算法. *系统仿真学报*, 2010, 22(01): 179-183
- [6] 陈善学, 李方伟. 矢量量化与图像处理. 北京: 科学出版社, 2009, 35
- [7] Wang A L, Yang M J. SAR image compression with vector quantization of wavelet trees at low bit rates. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Beijing, China, 2009, 1-4
- [8] Guan Z H, Zhou Z M. Adaptive vector quantization of SAR raw data. In: *1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE)*, Nanjing, China, 2009. 103-105

- [9] Gersho A, Gray R M. Vector Quantization and Signal Compression. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992. 21-30
- [10] 孙圣和, 陆哲明. 矢量量化技术及应用. 北京: 科学出版社, 2002. 55-57
- [11] Linde Y, Buzo A, Gray R. An algorithm for vector quantizer design. *IEEE Transactions on Communication*, 1980, 28 (1) : 84-95
- [12] Zhu L Y, Hong W, Wang J, Yuan Y N. DSP hardware implementation of BAVQ encoding for SAR raw data. In: Proceedings of the IEEE on Radar Conference, Long Beach, California, USA, 2002. 48-52
- [13] Wai-Yip Chan, Gupta S, Gersho A. Enhanced multistage vector quantization by joint codebook design. *IEEE Transactions on Communications*, 1992, 40 (11) : 200-203
- [14] Robert L, Ives R W, Eichel P, Magotra N. A new SAR image compression quality metric. In: 42nd Midwest Symposium, Circuits & Systems, 1999, 2 (8) : 1143-1146
- [15] Gray R M. Source Coding Theory. Boston: Kluwer Academic Press, 1990. 64

Complex SAR image compression using block adaptive multi-stage vector quantization

Yu Yan^{* **}, Wang Zhensong^{*}

(^{*} Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

(^{**} University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

A study on complex SAR image compression in the spatial domain was conducted, and an image compression algorithm based on block adaptive multi-stage vector quantization (BAMSVQ) was proposed. The BAMSVQ algorithm has the advantages of the block adaptive vector quantization (BAVQ) technique and the multi-stage vector quantization (MSVQ) technique. Based on the near Gaussian distribution of both the real part and the imaginary part of SAR images in a suitable block scale, the algorithm can use the BAVQ. The residual image data after the previous vector quantization (VQ) encoding stage also has an approximate Gaussian distribution according to the central limit theorem as a result of the decorrelation process in the previous stage, and hence the BAVQ can also be used. Moreover, the codebook sharing becomes possible after normalization of those Gaussian distribution data blocks. The test result shows that compared with the traditional MSVQ and BAVQ, this new approach can improve the performance, reduce the calculation burden and take less time.

Key words: synthetic aperture radar (SAR), image compression, block adaptive vector quantization (BAVQ), multi-stage vector quantization (MSVQ), codebook sharing