

天气雷达回波数据的并行自适应编码

艾未华^{1,2}, 黄云仙¹, 宋自林²

(1. 解放军理工大学气象学院 南京 2111011; 2. 解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)

【摘要】研究基于小波的并行自适应天气雷达回波数据无损压缩算法。根据回波数据的特点,提出了回波数据的坐标转换算法、矢量场保持算法及标量场滤波算法等有效的预处理算法;利用并行自适应压缩算法对预处理后的雷达回波数据进行压缩实验。实验结果表明,该算法具有较好的并行性和自适应性,在低比特率情况下,能获得较高的功率信噪比和满意的主观效果。

关键词 图像压缩; 并行自适应编码; 小波变换; 天气雷达回波
中图分类号 TN911.72 **文献标识码** A

Weather Radar Data Compression Based on Parallel Adaptive Coding Algorithm

AI Wei-hua^{1,2}, HUANG Yun-xian¹, SONG Zi-lin²

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology Nanjing 211101;
2. Institute of Command Automation, PLA University of Science and Technology Nanjing 210007)

Abstract A novel compression algorithm for weather radar data based on parallel adaptive coding is presented. Considering the specialty of radar data, some efficient pre-processing algorithms for the data such as coordinate transformation algorithm, vector field holding algorithm and scalar filter algorithm are given first. Then the parallel adaptive coding algorithm is used to compress the pre-processed data. Experimental results show that for the weather radar data, the proposed parallel adaptive algorithm achieves good Power Signal to Noise Ratio (PSNR) even in low bit rate.

Key words image compression; parallel adaptive coding algorithm; wavelet transform; weather radar data

天气雷达探测回波数据是灾害性天气监测和临近预报的重要信息。随着计算机和数据通信技术的发展,国内外都开展了天气雷达组网拼图业务系统的建设,促进资源共享和在更大范围内监测天气系统的变化。目前,天气雷达组网拼图已由一般等高平面位置显示回波的拼图,逐步向获取区域三维立体回波拼图发展。建立天气雷达三维立体拼图系统的一个关键问题是如何近实时地高效传输各组网测站的大量雷达立体扫描的回波数据。雷达数据压缩成为解决这一问题的有效途径。由于天气雷达回波数据结构复杂,目前的压缩方案^[1]大多通过线性预测、游程映射和熵编码^[2]等步骤进行无损压缩,虽可使数据信息不丢失,但其压缩率不高,需要一种新的有效的雷达立体扫描回波数据压缩方案来解决

这个矛盾。

本文针对天气雷达回波数据的特点,提出了预处理算法,并结合小波变换、并行工具和自适应算法,给出了一种新的适用于雷达回波数据压缩的并行自适应编码方案。

1 雷达回波数据压缩

1.1 雷达回波数据的坐标转换

雷达回波数据通常以极坐标形式编排和存储,不利于小波变换的实施和雷达回波数据相关性的利用,因此本文采取如图1所示的雷达回波数据处理方案。从雷达数据的头信息中获取立体扫描层数、每层方位角间隔和库长等信息,然后根据这些信息对回波数据进行坐标转换。设雷达扫描一周的径线数

收稿日期: 2005-10-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60403043)

作者简介: 艾未华(1979-),男,博士生,讲师,主要从事图像处理、语义Web、数据库技术等方面的研究。

为 m , 库数为 n , 则体扫一周的数据可构成 $m \times n$ 的图像数据, 图1为编排后的单层雷达扫描数据图像。坐标转化保持雷达回波原有的相关特性, 同时便于小波变换的实施。

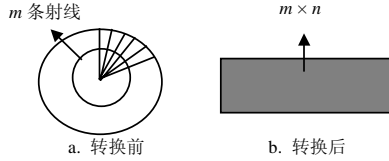


图1 坐标转换前后数据的分布

1.2 标量场滤波算法

每层雷达回波数据包括强度场数据、速度场数据和谱宽数据等数据信息, 其中速度场数据是矢量数据, 其他数据是标量数据。天气雷达立体扫描所收集的雷达回波数据并非都有实际意义。在标量数据中, 如果某个数据值低于阈值 T , 则认为该数据没有意义, 这种数据对天气预报没有任何作用。针对这种情况, 本文对标量场的数据进行滤波处理。在压缩前, 将数据值小于阈值 T 的数据置为零, 在解压缩后如果出现数据值低于给定阈值 T 的数据, 则将该数据值修改为 T 。

1.3 矢量场保持算法

雷达回波数据中的速度场数据表示降水粒子相对(远离或朝向)雷达的运动速度, 实际意义如表1所示。表中, 1为运动粒子朝向雷达的最大速度; 127为最小速度; 129为运动粒子远离雷达的最小速度; 255为最大速度; 128定义为零速度; 0表示该数据无效。

表1 速度数据代表的意义

0	1	<128	128	>128	255
无效	朝向雷达的最大速度	朝向雷达的速度	零速度	远离雷达的速度	远离雷达的最大速度

当用有损压缩算法对速度场数据进行压缩时, 数据的失真可能会造成运动粒子方向的改变, 从而会造成错误的判断, 在实际工作中很可能造成严重的天气预报错误。产生错误的原因是原来的有损压缩算法是针对标量图的, 而不是针对矢量图的。本文采用一种简单而有效的速度场保持算法, 即定义一个方向图, 在有损压缩之前, 将运动粒子的运动方向用标识符号记录下来; 恢复图像时, 以此为根据进行判断, 将产生错误的数据纠正过来, 标识符号的定义如表2所示。

表2 速度场数据运动方向标识编码

粒子运动情况	朝向雷达的速度	零速度	远离雷达的速度	其他情况
符号	11	0	01	10

1.4 自适应编码

1.4.1 优化剪裁算法^[3-4]

采用块间优化剪裁的方法, 将一层雷达回波图像分成若干 32×32 的块, 然后在块间进行基于率失真的优化剪裁, 从而使每一块有最佳的比特分配, 最终得到最优的编码性能。选用步长为 2^n 的量化器对小波系数进行量化。对某一层回波图像给定一最大码流长度 R^{\max} , 然后求得各块的优化裁剪点 n_i , 使失真度 \hat{D} 最小, 可得到一个带约束的优化问题为:

$$\min(\hat{D} = \sum_i D_i^{n_i}) \quad \text{s.t.} \quad R^{\max} \geq R = \sum_i R_i^{n_i}$$

并用拉格朗日乘法予以处理。对整个图像来说, 给定码流大小 R^{\max} 后, 总可找到一个最小的 λ , 使 $R \approx R^{\max}$ 。对于不同的块, 由于雷达回波数据图像的复杂程度不同, 所以由上述算法求得的裁剪点可大不相同, 这也正是优化意义的所在。

1.4.2 码间流长度分配算法

通过对雷达回波数据进行压缩测试实验发现, 在相同功率信噪比(Power Signal to Noise Ratio, PSNR)值这个条件下, 每层数据图像所需的码流长度是不同的。因此应在各层间进行码流长度的分配, 以使各层图像在失真度上大致相等。码流长度分配算法描述如下:

1) 初始化: $num_iter = 0$, 用于记录迭代次数; $T_{\text{adjust}} = 1$, 如果本次所选取的失真最小通道与失真最大通道与上一次得到的一样, 就通过 T_{adjust} 来调节这两个通道间的码流分配; $o_min_idx = -1$, 用于记录上次失真最小的通道号; $o_max = -1$, 用于记录上次失真最大的通道号; 给定的阈值 $T_{\text{threshold}}$ 可作为退出迭代过程的一个判断条件。

2) 在各通道间平均分配码流长度。

3) 迭代过程, 使各通道间的WMSE^[5]基本相等:

(1) 从各信道中获取该信道的失真度 D_i 值为:

$$D_i = \sum_j \frac{D_j}{32 \times 32}$$

在块间优化剪裁中一层回波数据被分成若干个块, 将各个块的WMSE值取平均得到 D_i , 代表该层数据返回的失真度。

(2) 从各个通道中, 选取值最大的 D_i , 作为失真度最大的通道, 记下通道号 max_idx ; D_i 值最小的作为失真度最小的通道, 记下通道号 min_idx 。

(3) if $((max_idx == min_idx) \parallel (D_{max_idx} - D_{min_idx} \leq T_{threshold}))$, 退出迭代过程。

(4) if $(max_idx == o\ max_idx) \& \& (min_idx == o\ min_idx)$

{ $T_{adjust} ++$;

if $(T_{adjust} > 256)$, 退出迭代过程。

} else $T_{adjust} = 1$;

(5) 统计 max_idx 通道和 min_idx 通道的总码流长度 $available_bits$, 进行重新分配, 两个通道获得码流分别为 $bits_{max_idx}$ 、 $bits_{min_idx}$;

$$bits_{min_idx} = available_bits \times \frac{1}{T_{adjust} + 1}$$

$$bit_{max_idx} = available_bits \times \frac{T_{adjust}}{T_{adjust} + 1}$$

(6) $o\ max_idx = max_idx$; $o\ min_idx = min_idx$; $num_iter ++$;

(7) if $(num_iter < 1\ 024)$ 返回(1)。

4) 结束

在实际操作中, 有些图像的收敛性上可能存在问题, 所以该算法求得的并不一定是最优的解, 有时候只是一种优化的解。

2 系统框架及试验结果

本文采用多普勒天气雷达的六层立体扫描回波数据, 进行三级小波分解。采用上述的并行自适应编码方案, 用基于DCT变换的JPEG^[6]图像压缩方法、EZW^[7-9]算法和本文给出的自适应算法分别对雷达回波立体扫描数据进行了压缩效果对比实验, 得到的平均压缩结果如表3所示。

表3 各种压缩算法平均压缩结果比较

输出码率	峰值信噪比		
	JPEG	EZW	本文算法
1.000	35.66	38.58	40.52
0.500	33.10	35.41	36.66
0.250	31.63	33.98	34.38
0.125	30.85	32.68	33.78

图2是原雷达回波图和使用本文算法得到的在不同比特率下恢复数据的对比图。

在雷达组网拼图系统中, 对雷达回波数据传输

的实时性要求较高, 必须尽量缩短数据压缩的时间。该算法在各层雷达回波数据内部实行优化剪裁算法时各层数据间有一定的独立性, 所以可以并行执行; 而在单层数据图像内部, 通过将图像分块进行处理, 进行小波变换和基于率失真的优化算法时, 各块之间也具有一定的独立性, 所以对这些块的处理也可以并行地进行。实验采用的并行工具为(Message Passing Interface, MPI^[10]), 并行计算平台是由六个普通Cel2.0G的PC机组成的集群进行并行压缩编码, 计算得到的实验结果如表4所示。

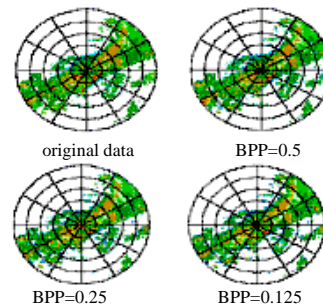


图2 单层回波图像在不同输出码率下的压缩结果

表4 串行与多个并行节点的计算性能比较

CPU数目	计算时间/s	加速比	并行计算效率/(%)
1	72.15	1.00	100.0
2	37.19	1.94	97.0
3	24.40	2.84	94.6
6	12.88	5.60	93.3

从表中的测试数据可以看出, 当使用六个CPU进行处理时, 计算已经可以在12.88 s内完成, 大大提高了实时性; 随着CPU数目增多, 并行效率逐渐降低, 这是因为通信量随着CPU的增多而增加, 并行计算所减少的时间不能远大于增加的通信时间, 因此导致并行计算效率下降。

3 结束语

本文研究了基于小波的天气雷达回波数据的并行自适应无损压缩算法, 提出了适合雷达回波数据的预处理算法, 实现了通道内部码流的合理分配, 也实现了通道间的码流协调, 解决了在码流长度较小的情况下, 如何高效、合理分配码流的问题。同时, 并行编码可以大大缩短压缩时间, 提高数据传输的实时性。所以该算法在雷达立体扫描数据传输和三维组网拼图系统中可发挥应有的作用。

(下转第708页)

2-D ST-OOC码的系统能容纳的用户数多达141, 两种情况下所需的编、解码元件个数(除偏振器外)完全相同, 但后者容量以及误码率性能得到较大提高。

4 结 束 语

本文通过在一维ST-OOC码基础上引入偏振信息, 提高码字维数, 不仅使系统码字容量提高, 而且大大降低了系统误码率, 使同时用户数成倍增长; 在相同系统容量和误码率性能要求下, 节省了编、解码器的数量; 若能再引入波长、相位等信息, 提高码字维数, 将使系统性能更为优良, 系统设计更经济。目前已有在编/解码端使用刻入高双折射光纤的布拉格光纤光栅作为偏振器来获得基于二维多波长编码(MWOOC)的三维码的技术研究^[10]。其基本思想正是通过提高码字维数来获得性能更优良的OCDMA码字, 以提高系统性能。

本文的研究工作得到了西华大学青年基金的资助, 在此表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- [1] SALEHI J A. Code division multiple-access techniques in optical fiber, networks-part I: fundamental principles[J]. IEEE Trans. Commun., 1989, 37(8): 824-833.
- [2] KESHAVARZIAN A, SALEHI J A. Optical orthogonal code acquisition in fiber-optic CDMA system via the simple serial search method[J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(3): 473-483.
- [3] CHUNG F R, SALEHI J A, WEI V K. Optical orthogonal code design, analysis and applications[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1989, 35(3): 595-604.
- [4] MIYAMOTO N, MIZUNO H, SHINOHARA S. Optical orthogonal code obtained from conics on finite projective planes[J]. Finite Fields & Their Applications, 2004, 10(3): 405-411.
- [5] ABEL R, JULIAN R, BURATTI M. Some progress on $(v,4,1)$ difference families and optical orthogonal codes[J]. Journal of Combinatorial Theory-Series A, 2004, 106(1): 59-75.
- [6] CHANG Y X, YIN J. Further results on optimal optical orthogonal codes with weight 4[J]. Discrete Mathematics, 2004, 279(1): 135-153.
- [7] TANCEVESKI L, ANDONOVIC I. Hybrid wavelength hopping/time spreading schemes for use in massive optical network with increased security[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1996, 14(12): 2636-2647.
- [8] IVAN B D. Novel combinatorial construction of optical orthogonal codes for incoherent optical CDMA system[J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(9): 1869-1875.
- [9] 李传起. OCDMA系统ST-OOC码字构造及性能研究[J]. 电子学报, 2006, 34(1): 103-106.
- [10] NOGUEIRA R N, TEIXEIRA A L J. Polarization-assisted OCDMA using fiber bragg gratings written in highly birefringent fibers[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(7): 841-843.

编辑 黄 莘

(上接第705页)

参 考 文 献

- [1] KRUGER A, KRAJEWSKI F. Efficient storage of weather radar data[J]. Software Practice and Experience, 1997, 27(6): 623-635.
- [2] 吴乐南. 数据压缩的原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995: 116-120.
- [3] TAUBMAN D. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(7): 1158-1170.
- [4] 冯前进, 陈武凡. 基于内嵌块优化等级权(EBOHT)算法的图像编码[J]. 计算机学报, 2002, 25(11): 1170-1174.
- [5] TAUBMAN D. High performance scalable image compression with EBCOT[C]//Image Processing 1999, Proceedings 1999 International Conference. [S. l.]: [s. n.], 1999, 1(3): 213-217.
- [6] ISO. JPEG still picture interchange file format (SPIFF) [EB/OL]. <http://www.jpeg.org/public/spiff.pdf>, 2005-03-25
- [7] SHAPIRO J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Trans Signal Processing, 1993, 41: 3445-3462.
- [8] 王祥林, 林行刚, 吴国威. 改进的图像多分辨率零树小波编码算法[J]. 通信学报, 1997, 18(4): 50-53.
- [9] SAID A, PERLMAN W A. A new and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Trans on Circuits Syst Video Technol, 1996, 6(6): 243-250.
- [10] 都志辉. 高性能计算之并行编程技术-MPI并行程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 286-293.

编辑 税 红