

一种船舶雷达导航回波数据压缩算法的设计

刘羽^{1,2}, 曾杰辉^{1,2}, 刘晓阳^{1,2}

(1. 桂林理工大学 广西矿冶与环境科学实验中心, 广西 桂林 541004;

2. 桂林理工大学 机械与控制工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了解决船舶雷达导航系统存储空间小、原始回波数据量多和文件大等矛盾, 根据船舶雷达数据的特点, 设计了位图压缩—半字节压缩—双哈夫曼压缩的混合压缩算法; 该算法以半字节压缩算法为核心, 融合了位图压缩算法和哈夫曼压缩算法, 单纯的半字节压缩算法理论上压缩比可达到 50%, 将位图压缩和哈夫曼压缩与其融合后, 总压缩比可达 76% 以上; 实验证明, 新算法可以为船舶导航系统节省了大量的存储资源, 并提高了数据传输的速率。

关键词: 船舶雷达导航; 半字节压缩; 位图压缩; 哈夫曼压缩

Design of a Compression Algorithm for Ship Navigation Radar Echo Data

Liu Yu^{1,2}, Zeng Jiehui^{1,2}, Liu Xiaoyang^{1,2}

(1. Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment, Guilin University of Technology,

Guilin 541004, China; 2. College of Mechanical and Control Engineering, Guilin University of Technology,

Guilin 541004, China)

Abstract: In order to solve the conflict between the shortage of ship navigation radar system's storage space and large raw echoes data and files, a mixed compression algorithm of the bitmap compression—half a byte compression—Double Huffman compression is presented, according to the character of ship navigation radar's data. On the base of half a byte compression algorithm, this algorithm combines the bitmap compression and the Huffman compression algorithm. In theory, the compression ratio of pure half a byte compression algorithm can run up to 50%, the total compression ratio can reach more than 76% when being combined with the bitmap compression and Huffman compression. It has been proved by the experiment that the new algorithm can save a large amount of storage resources for ship navigation system, and improve the rate of data transfer.

Keywords: ship navigation radar; half a byte compression; bitmap compression; Huffman compression

0 引言

船舶雷达导航通过发射无线电波, 并接收该电波从目标发射的回波, 可在显示器上一目了然地显示周围物标相对于本船的图像, 测定一个或几个固定物标相对于本船的方位和距离, 可在海图上作出船位。因此, 雷达导航对船舶在近岸海域或窄行道上安全航行发挥了重要作用, 尤其是雨航、雾航过程中。然而, 船舶雷达导航系统存在存储空间小、无存储量大的硬盘、原始回波数据的数据量多及文件大等问题, 为了解决这一矛盾, 有必要采用一种高效的压缩算法对雷达的原始回波数据进行无损压缩^[1]。

1 数据压缩的简介

关于数据压缩的定义, 吴乐南从编码角度提出: 数据压缩, 就是以最少的数码表示信源所发的信号, 减少容纳给定消息集合或数据采样集合的信号空间^[2]。从编码角度来看, 数据压缩也是一种编码方式。经过编码式的数据压缩比原始数据占用更小的存储空间^[3]。

目前, 数据压缩的方法种类繁多, 通常分为无损压缩和有

损压缩两大类。无损压缩就是保证能在一个压缩/解压周期之后产生一个精确的输入数据流副本, 而不引入任何失真。无损压缩的目的是最大限度地除去冗余信息, 保留能还原原始数据的最基本的数据信息。这种方法广泛用于文本的数据、程序和特殊应用的图像数据(如指纹图像、医学图像等)的压缩。现在成熟的无损压缩方法主要有游程编码、哈夫曼编码、算术编码和 LZ77 编码等。有损压缩方法即允许压缩过程中损失一定的信息, 虽然不能完全恢复原始数据, 却换来了很大的压缩比^[4]。很明显, 在这里我们要研究的是船舶雷达导航系统原始回波数据的文本压缩属于无损压缩, 因为我们必须保证经过压缩后的报文可以完整地还原。根据船舶雷达导航原始回波数据的特点, 本文决定采用位图压缩+半字节压缩+双哈夫曼压缩的混合改进算法。

2 系统设计思想

在雷达导航系统内部, 雷达导航原始回波数据经过专用于雷达基带信号处理的 SOC 芯片处理后, 数据的文本文件中共出现了 13 种字符, 它们是“0~9”、“—”、换行符和回车符^[1]。其中对应的 ASCII 编码如表 1 所示。

通过观察表 1 中 ASCII 编码列可知, 字符“0~9”的 ASCII 编码连续且高四位均为“0011”, 而其他 3 个字符(“—”、换行符和回车符)的 ASCII 编码则不具备这个特点。为了满足下文所采用的半字节压缩算法的要求, 在这里先对 3 个字符按照表中约定的值进行重新编码, 即: 将“—”、换行符

收稿日期: 2014-01-17; 修回日期: 2014-03-26。

基金项目: 广西教育厅科研项目(教育 201102ZD018); 广西教育厅研究生教育创新计划项目(YCSZ2012085)。

作者简介: 刘羽(1961-), 男, 广西桂林人, 博士, 教授, 主要从事并行计算及信息技术方向的研究。

表 1 原始回波数据 ASCII 编码

字符	ASCII 编码	约定编码
0	00110000	00110000
1	00110001	00110001
2	00110010	00110010
3	00110011	00110011
4	00110100	00110100
5	00110101	00110101
6	00110110	00110110
7	00110111	00110111
8	00111000	00111000
9	00111001	00111001
—	00101101	00111010
换行符	00001010	00111011
回车符	00001101	00111100

和回车符分别编为“00111010”、“00111011”、“00111100”。这样, 经过重新编码后的 ASCII 值在“00110000—00111100”的范围内, 且 13 种字符编码均以高四位“0011”开头, 约定编码后的数据文本如表 1 所示。

根据表 1 编码后的数据特性, 首先, 用位图压缩算法对数据文本文件中的换行符和回车符进行压缩, 得到相应的位图信息和字符信息; 接着, 按照表 1 中的约定对字符信息中的“—”进行重新编码, 再进行半字节压缩; 最后, 对位图压缩和半字节压缩后的字符信息与位图信息再进行两次哈夫曼压缩。实验证明, 这样得出的数据与单纯用半字节压缩算法相比得到的数据压缩比更大, 更能节省存储资源。本文正是采用这种位图压缩+半字节压缩+双哈夫曼压缩的混合压缩算法来完成船舶雷达导航系统的数据压缩及解压缩的任务。我们可以把这种混合压缩算法简称: bMap—HalfB—Dhuf。

3 位图压缩+半字节压缩+双哈夫曼压缩算法的原理

由表 1 可知, 雷达导航原始回波数据的文本文件中, 除了数字文本和“—”之外, 还有大量重复的换行符和回车符文本, 而半字节压缩算法只适用于纯数字文本文件的压缩。因此, 在采用半字节压缩算法之前还必须对数据文本文件进行处理, 这里采用了位图压缩算法对其进行处理。基本思路是: 用 0 标识换行符或回车符, 用 1 表示其他字符。打开源文件, 按顺序每次读取一个字符, 判断该字符是否为换行符或者回车符。如果是, 则将位图信息的相应位置 0, 并丢掉该字符, 反之, 则将该位图位置 1, 并将该字符存储到缓存中。此外, 每读取 8 个字符, 就将生成的位图信息及字符信息依次存储到缓存中。假设 C 代表回车符或换行符, B 系列代表其他字符, 则位图压缩的实现如表 2 所示:

表 2 位图压缩算法

源数据流	B1	C	B2	C	C	B3	B4	C
压缩数据流	10100110		B1	B2	B3		B4	

对雷达原始回波数据文本文件进行位图压缩完毕后, 接着按顺序每次读取字符信息中的两个字符, 判断读取的两个字符数值是否均在“00110000~00111001”范围内, 若不在, 则按

表 1 进行编码, 然后进行半字节压缩处理。由表 1 可见, 约定编码后的数据文本文件中 13 种字符高四位均为“0011”, 这是冗余的, 需要把它压缩。因为每一种字符完全可以用低四位描述, 即每种字符的 8 位编码压缩为 4 位编码, 其压缩比理论上可达到 50%。半字节压缩数据编码表如表 3 所示。

表 3 半字节压缩数据编码表

字符	ASCII 编码	约定编码	半字节表示
0	00110000	00110000	0000
1	00110001	00110001	0001
2	00110010	00110010	0010
3	00110011	00110011	0011
4	00110100	00110100	0100
5	00110101	00110101	0101
6	00110110	00110110	0110
7	00110111	00110111	0111
8	00111000	00111000	1000
9	00111001	00111001	1001
—	00101101	00111010	1010
换行符	00101010	00111011	1011
回车符	00001101	00111100	1100

完成了用低四位表示一个数字后, 接下来面临两个问题: 1) 如何计数压缩对象; 2) 怎样把两个数字的低位合并到一个字节中, 格式如表 4 所示。

表 4 半字节压缩格式

压缩标志	压缩数据计数器(N)	1	3	5	7	N-1
		2	4	6	8		N

从表 4 我们不难发现, 关于第二个问题, 要规定压缩后的字节中奇数号字符的四位编码与偶数号字符的四位编码的存放次序, 故实现编程也不难。在此, 我们作如下规定: 编号是奇数的字符放在高四位, 编号为偶数的字符存放在低四位。半字节压缩中需要解决的首要问题是压缩对象的计数问题。解决此问题的方法有两种: 一种是半字节计数器 (Half—Byte Counter); 另一种是全字节计数器 (Full—Byte Counter)。不管哪一种方法, 它们都要占用字节, 再加上压缩标识也要占用字节, 势必会影响数据的压缩比^[5]。然而, 我们通过位图压缩处理后再进行半字节压缩可以完全解决此问题。因为数据文本经过位图压缩和数据编码后的数据长度是固定的, 不是动态可变的, 所以不需要解决压缩对象的计数问题。一般来说, 任何一种压缩算法都需要用压缩指示字符作为压缩数据的标识, 压缩标识符越短越好, 过长的字符会影响压缩效果。由于雷达原始回波数据中所有字符都做了编码处理, 不存在原样字符 (不进行压缩的字符, 在解压时原样输出), 因此压缩标识完全可以省略, 就可以进一步提高数据的压缩比。改进后的半字节压缩算法流程如图 1 所示。

在雷达导航原始回波数据文本中, 空格符、回车符和“—”重复率比数字大。为了进一步提高压缩比, 在数据文本经过位图压缩和半字节压缩后, 接着采用哈夫曼压缩算法进行两次压缩。哈夫曼压缩算法原理是: 将使用次数多的代码转换成长度较短的代码, 而使用次数少的可以使用较长的编码, 并保持编码的唯一可解性^[6]。具体实现过程是, 首先用经过半字节压缩后的数据文本初始化 511 个哈夫曼节点, 接着, 计算在输入缓冲区数据中, 每种字符出现的频率, 根据计算出现的频

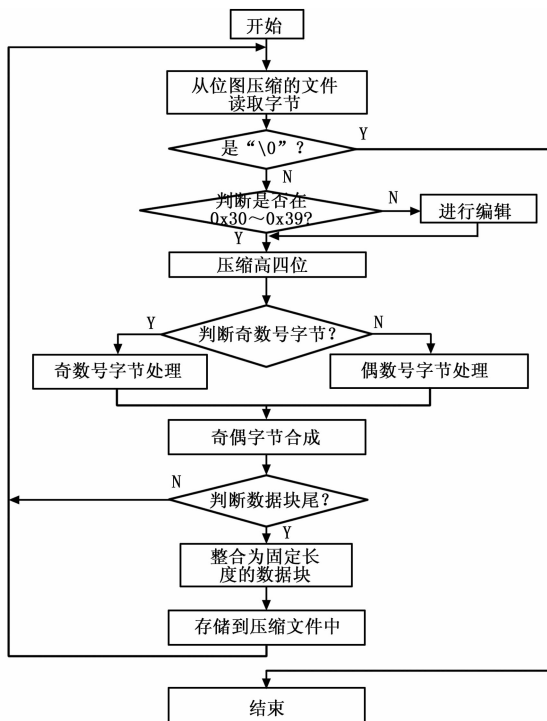


图 1 半字节压缩算法流程图

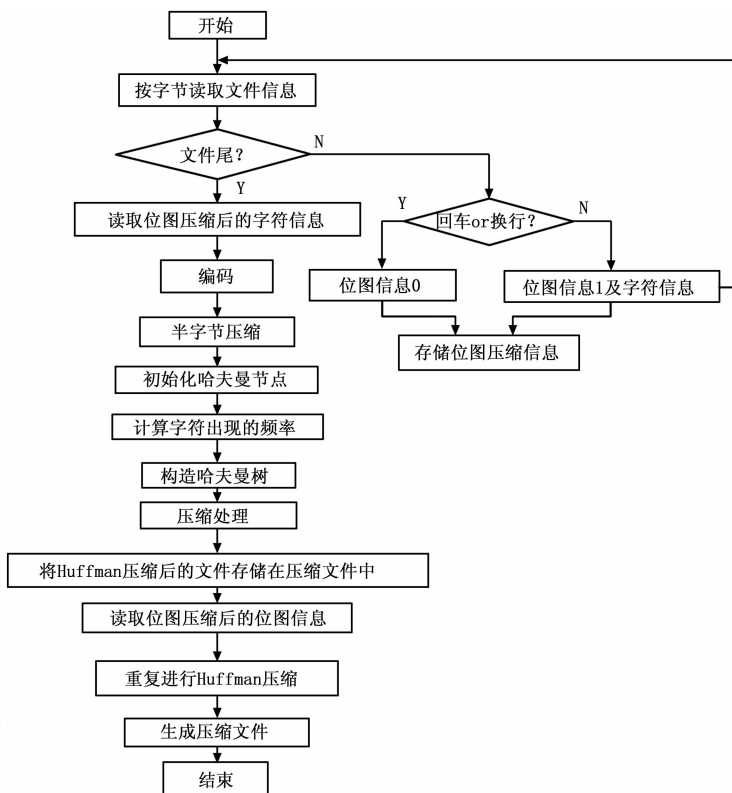


图 2 bMap-HalfB-Dhuf 混合无损数据压缩算法

率排序，构造出哈夫曼树。通过哈夫曼压缩算法后，可实现数据文本中累计的（字符的统计数 * 字符的编码长度）为最小，也就是权值（字符的统计数 * 字符的编码长度）的和最小。哈夫曼压缩算法关键步骤程序如下：

初始化程序如下：

```

CHuffmanNode node[511];
for(int nCount=0;nCount<256;nCount++){
nodes[nCount].byAscii=nCount;
计算每种数据文本中字符出现的频率：
for(nCount=0;nCount<nSrcLen;nCount++){
nodes[pSrc[nCount]].nFrequency++;
根据计算频率结果对字符进行排序：
qsort(nodes,256,sizeof(CHuffmanNode),frequencyCompare);
构造哈夫曼树，获取每个字符对应的位系列：
int nNodecount = GetHuffmanTree(nodes);
    
```

4 算法软件实现流程

通过第 3 节对 bMap-HalfB-Dhuf 混合无损数据压缩算法的详细介绍，下面分别用半字节压缩算法、哈夫曼压缩算法与 bMap-HalfB-Dhuf 混合无损数据压缩算法对原始回波数据文本文件进行压缩。为了减少误差，得到更客观的实验结果，特意选取编号为 1、2、3 对应样品量大小为 750 k、1 432 k、2 578 k 的文件进行测试。选用的软件平台是在 C 环境下进行压缩实验^[7]。bMap-HalfB-Dhuf 混合无损数据压缩算法整体流程图如图 2 所示。

船舶雷达回波数据的 3 个样本量直接采用半字节压缩算法实验结果如表 5 所示。

船舶雷达回波数据的 3 个样本量直接采用 Huffman 压缩算法实验结果如表 6 所示。

表 5 半字节压缩算法对数据文件压缩的结果

编号	压缩前文件/kb	压缩后文件/kb	压缩时间/s	压缩比/(%)
1	750	389.6	0.236	48.05
2	1 432	756.4	0.436	47.18
3	2 578	1 337.5	0.712	48.12

表 6 Huffman 压缩算法对数据文件压缩的结果

编号	压缩前文件/kb	压缩后文件/kb	压缩时间/s	压缩比/(%)
1	750	496.2	0.210	33.84
2	1 432	928.2	0.408	35.18
3	2 578	1 621.0	0.695	37.12

利用混合压缩算法对船舶雷达回波数据的 3 个样本量进行压缩，实验结果如表 7 所示。

表 7 bMap-HalfB-Dhu 与其他算法的压缩结果的对比

压缩算法	压缩前文件/kb	压缩后文件/kb	压缩时间/s	压缩比/(%)
1	750	179.1	0.295	76.12
2	1 432	326.8	0.545	77.18
3	2 578	584.2	0.876	77.34

实验结果分析：单纯采用半字节压缩算法，在实现半字节压缩的过程要对压缩的数据进行记录，必然会占用额外的字节空间，所以实验结果达不到理想状态下 50% 压缩效果；哈夫曼算法在没有经过位图压缩处理的回波数据的压缩中，大量的换行符和回车符没有提前剔除，导致压缩比也不高。而采用

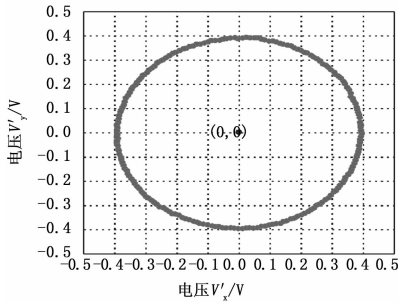


图 4 对零位、灵敏度误差的补偿效果

罗盘测得的地磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 的关系如图 5 所示。

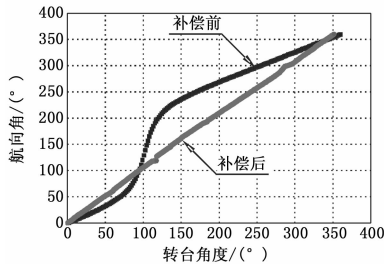


图 5 零位、灵敏度误差下航向角测量结果

由图 5 所示的测量结果可知: 补偿前由于 V_x 和 V_y 形成的椭圆中心点为 (V_{xoff}, V_{yoff}) 不为 $(0, 0)$, 所以 HMC1043 电子罗盘测量的磁航向角 α 与转台角度 φ 并非线性关系; 补偿后罗盘的输出电压 V_x 和 V_y 组成的图形为圆心在原点的圆, 对应的磁航向角 α 与转台角度 φ 的关系已接近直线。由补偿前后的结果对比可知, 通过所述的补偿算法可以有效地补偿传感器的零位、灵敏度误差。

之后再次按图 2 所示的测量系统, 在小磁铁产生干扰磁场的环境下, 经过补偿算法前后 HMC1043 测得的地磁航向角 α 与转台角度 φ 的关系如图 6 所示。

同理由图 6 的测量结果对比可知: 在小磁铁产生干扰磁场的环境下, 补偿前 HMC1043 测得的磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 并非线性关系; 补偿后则已接近直线关系。

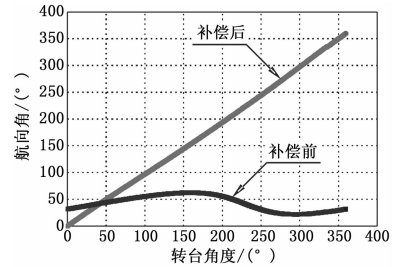


图 6 干扰磁场下航向角测量

通过在 HMC1043 电子罗盘中的实实验证可知: 所述误差补偿算法可以有效地补偿电子罗盘测量过程中的零位、灵敏度误差和干扰磁场引起的误差。经测量分析可知, 用小磁铁的磁场模拟外界干扰磁场时, 罗盘补偿后测得地磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 之间的误差小于 6.7° , 无磁铁时小于 4.5° 。

4 结论

本文论述了电子罗盘水平状态下的航向角误差补偿算法, 主要完成的工作如下:

- 1) 建立了误差补偿算法的数学模型;
- 2) 通过将补偿算法在 HMC1043 电子罗盘中进行实实验证, 验证论述的补偿算法可补偿零位、灵敏度误差以及与罗盘位姿保持不变的干扰磁场的影响, 并且可使地磁航向角 α 在磁铁的干扰下误差小于 6.7° , 无磁铁时小于 4.5° 。

参考文献:

[1] 杨新勇, 黄圣国. 磁罗盘的罗差分析与验证 [J]. 电子科技大学学报, 2004, (10): 547-550.
 [2] 陈丽芬. 三维磁阻电子罗盘的应用开发及性能评价研究 [J]. 太原理工大学, 2012, (07): 25-26.
 [3] 刘诗斌. 微型智能航向系统研究 [J]. 西安: 西北工业大学, 2001, (2): 79-81.
 [4] 范寒柏. 电子罗盘的倾斜补偿和干扰补偿的理论分析及实验验证 [J]. 传感技术学报, 2012, 25 (9): 1280-1283.
 [5] 崔瑞芬. 微型磁阻式电子罗盘的设计及罗差补偿方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18: 2608-2611.

(上接第 2514 页)

bMap-HalfB-Dhuf 混合压缩算法在压缩过程中能够实现较高的压缩比, 达 76% 以上。从而证明采用该算法对雷达导航回波数据文本进行压缩是有效的。

5 总结

本文主要是对船舶雷达导航回波文本数据进行无损压缩算法的研究, 根据文本类型回波数据的特点, 设计了 bMap-HalfB-Dhuf 混合压缩算法, 经过实践检验, 此压缩算法对文本类型雷达导航回波数据压缩效果非常显著, 既保证压缩比高又处理速度快, 能满足船舶雷达导航原始数据的存储需求, 非常适用于船舶雷达导航系统。

参考文献:

[1] 沈良. 船舶导航雷达回波信号仿真研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2007.
 [2] 吴乐南. 数据压缩 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
 [3] Kasumov N K. The universal coding method in the data compression algorithm [J]. Automatic Control and Computer Sciences, 2010, 445.
 [4] 刘萌. 电力线载波窄带通信报文压缩算法研究 [D]. 中国海洋大学, 2011.
 [5] 娄华平, 孙运强, 姚爱琴. 数据采集系统中的数据压缩算法设计 [J]. 机械管理开发, 2007, 06: 84-85, 87.
 [6] 李啸. 多普勒气象雷达原始回波数据混合压缩算法研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2011.
 [7] 沈玲. 雷达数据处理的研究及其软件实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2012.