

赵 芳 应显勋

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

GRIB 码是目前世界气象组织(WMO)建议使用的二进制比特流压缩代码,适用于表示数值天气预报(NWP)产品的格点场数据。该文在 GRIB 码一级压缩原理等内容简介的基础上,着重讨论了 GRIB 码二级压缩的概念、原理和方法。

关键词: GRIB 码 二级压缩 格点场

引 言

在气象业务系统中,实时气象资料具有高度分散、高度集中和实时使用等特点。因此,采用数据库技术对其进行集中的组织和管理,是实现资料共享,并使其充分发挥作用的一个有效方法。但随着观测手段的提高和数值预报业务的发展,气象观测资料和加工资料迅速增加,这给数据库的管理、存贮及资料的通讯传输都带来了许多不便。

解决上述问题的方法之一是采用数据压缩技术,来减少存贮空间,缩短通信传输时间,减少传输带宽。近几年来,许多专家对这个问题进行了研究和探讨,提出了一些意见和方法。常见的有:半字长数据型式、偏差值压缩存贮方式、选择比例因子的压缩存贮法、GRID 码的二进制数据压缩存贮方式等等^[1]。在总结各种方法优点的基础上,WMO 建议使用二进制比特流压缩码——GRIB 码(Gridded Binary)。它适用于表示数值天气分析和预报产品的格点场资料,如模式输出的谱系数面、高斯格点场、经纬度格点场等。与此同时建议的还有 BUFR 码(Binary Universal Form for the Representation of Meteorological Data),它也是一种二进制压缩码,适用于表示气象原始观测资料、时间序列资料及资料的质量控制信息和替代值。

BUFR 码和 GRIB 码都是与计算机无关的压缩二进制码,因此必须通过编制编程程

序,将气象资料转化成 BUFR 码或 GRIB 码,以连续的二进制比特流的方式存贮起来。使用时,再通过解码程序,将其还原成可读和可计算的气象数据。它们的压缩率一般都在 50% 以上,其压缩原理基本相似,即利用“最小值消去法”进行压缩。

GRIB 码二级压缩是在一级压缩的基础上进行的,而其一级压缩是对原始的格点场资料进行的。因此,为了说明问题,下面先简单介绍 GRIB 码一级压缩的原理和算法。

1 GRIB 码一级压缩原理

GRIB 码的一级压缩,是以一个格点场为单位进行的。

数值天气预报产品的格点场数据都是浮点数,压缩时很难不丢失信息,所以我们确定了在数据库允许的情况下,寻找有效的编码方法压缩其存贮空间的压缩原则。

GRIB 码一级压缩的原理是:先使格点数据在某种精度下正整数化,然后求出该场整数化后的最大“正整数”所需的比特位数 i ,于是就把整个格点场的每个值都压缩在 i 位之内了。

GRIB 码一级压缩的变换关系是:

$$Y_k \times 10^D = R \div X_k \times 2^S \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

其中: Y_k 是未压缩的实际数据($k=1, 2, \dots, n$); D 是十进制标度,使格点值取适合的单位; R 是基准值,是 $Y_k \times 10^D$ 中的最小值; S 是比例因子,是第一位为符号位的 16 位整

数,其作用是保证精度; X_k 是压缩后的值(其压缩位 $\leq i, k=1, 2, \dots, n$)。

从上式可以看出,GRIB 码一级压缩就是用场中的值 Y_k , 减去场中的最小值 R , 在满足压缩精度 S 的条件下, 求出压缩宽度为 i 的压缩值 X_k 。 D 通常是事先给定的值。

由于比例因子 S 和压缩后的数据所占的宽度 i 不能从变换关系中同时求出, 因此只能给出一个, 计算另一个, 于是 GRIB 码一级压缩的算法有两种。第一种, 给定压缩位 i (压缩后数据所占宽度) 求比例因子 S 。这种方法取统一的压缩位, 有利于格点场库的数据结构设计, 易于管理, 也有利于 GRIB 码编码程序的设计。第二种, 给定比例因子 S (通常取 $S=0$, 具体精度由 D 决定), 求压缩位 i 。这种方法适用于那些精度要求不太高的要素和层次, 来获得较高的压缩比, 有利于资料存档^[3]。

实际表明, GRIB 码一级压缩对格点场数据的表示是十分有效的。它的压缩率较高, 有的计算机上可以达到 75% 也能满足实际业务的要求。

2 GRIB 码二级压缩

将格点场数据压缩成一级 GRIB 码来节省存储空间。但是, 格点场资料量增加的趋势是肯定的, 这就要求进一步节省存储资源, 便于通信。因此, 我们考虑能否在一级压缩的基础上, 再次进行压缩, 从而进一步减少资料的存储空间, 加快资料的传输, 这就是二级压缩的出发点。

GRIB 码的一级压缩是在整个场的范围内选取最小值, 然后减去它, 最后对其偏差 (即振幅) 进行压缩。这说明, 振幅越大, 压缩率越低, 振幅越小, 压缩率越高。但从气象资料的物理意义上来说, 在全球范围内变化很大。如果范围缩小, 则气象要素的变化也减小。因此在一级压缩的基础上, 把整个场分成几个小组, 在每个小组内选取最小值, 减去它, 对其差值再次压缩, 就能达到更好的压缩比。

二级压缩与一级压缩其原理是一样的。其区别是, 后者的最小值只有一个, 即场中所

有点中的最小值。而前者的最小值是若干个, 取决于其对一级压缩值分组的情况。二级最小值可能是每行的最小值, 也可能是根据某种算法进行分组所对应的若干个最小值。不同的算法得到不同的分组, 也会取得不同的压缩效果。

3 GRIB 码二级压缩的算法

基于上述的“二级最小值消去法”的原理, 可以有多种变更的方法。下面我们就其 3 种算法进行讨论。

3.1 算法 1^{[1],[3]}

这是“二级最小值消除法”中较简单的一种算法, 即在减去原始格点场中总最小值生成一级压缩值后, 再以格点场的行为单位对一级压缩值进行分组。每组的最小值即为行最小值。每行分别减去各自的最小值, 然后对其差值进行二级压缩。

3.2 算法 2

这种算法与算法 1 相类似, 其区别在于对一级压缩值的分组不是直接以行为单位的, 而是引入一个基数 $MINPK$, 以 $k * MINPK$ 为单位进行分组。其中 $MINPK$ 是一个经验值, k 是一个可变的整数。这使得每个二级压缩组中最少应包含的值数为 $MINPK$, 最后一组例外。其实现过程如下: 从场的第一个值开始, 先取 $MINPK$ 个格点值为第一组, 减去其二级最小值, 并求出该组中的最大值所需的比特位数 (二级压缩位); 再取 $MINPK$ 个格点值为第二组, 消去其最小值, 求出二级压缩位。如果两次求出的压缩位相等, 则把一、二组合并为一个组来进行最后的压缩; 相反, 则仍把第一、二组视为单独的组进行最后的压缩。然后, 再取 $MINPK$ 个格点值为第三组 (如果第一、二组合并则为第二组), 再进行如上同样的处理, 以此类推, 直到最后一组。当然, 合并处理只能在当前一组和前一组之间进行。当格点值个数不能被 $MINPK$ 整除时, 最后一组不为 $MINPK$ 个值。由此可见, 这种算法中其他各组的实际大小是 $k * MINPK$, k 是一个整变量, 对不同的组其取值是不同的。因此, 与算法 1 相比, 算法 2 的分组大小是不固定的, 更具灵活性。这

种算法从原理上来讲保证了压缩每组值所需的比特位数都是最少的,从而节省了空间。其中的整数 MINPK 的大小可以通过实验得到具体的数据,对不同的场进行调整。

3.3 算法 3

这种算法与算法 2 相类似,其区别在于各组的大小不再由 $k * \text{MINPK}$ 来决定,而是由 MINPK 和另一个整变量 INC 来决定。其中 MINPK 仍是一个决定最小组大小的基数,其余组的大小,则由 MINPK 再加上 INC 增量来决定,INC 也是一个经验值。其实现过程如下:第一步,从格点场第 1 个要素开始,取 MINPK 个值构成组 A,减去其二级最小值,求出二级压缩位;第二步,再把 A 组后 INC 个值加于其上形成一个新的组 B,减去其二级最小值,求出其二级压缩位;第三步,紧跟 A 组后又取大小为 MINPK 个值的组作为组 C,求出其二级压缩位。若组 A 和组 B 的压缩位相等且都不大于组 C 的压缩位,则把组 B 作为一个新组 A;否则,就不再增加 A 组值的个数,使 A 保持原大小。其后的处理,则以新组 A 或组 C 为准进行第二步,依此类推,直到最后一组。这个处理是从大小为 MINPK 的组 A 开始的,需要注意的是不要使其最后一组值的个数非常少。由上可以看出,与算法 2 相区别的是,此算法中组的大小由 $k * \text{MINPK}$ 变成了 $\text{MINPK} + k * \text{INC}$, k 仍是一个整变量,对不同的组可以取不同的值。这种作法,比算法 2 更灵活。

4 算法讨论

以上介绍了基于“最小值消除法”原理的二级压缩的三种算法,本节讨论这些算法的效果。

压缩算法的评价,一般根据 3 项指标:即压缩比、失真度和复杂度。压缩比反映了数据压缩率的高低,失真度反映数据能达到的精确度,复杂度反映压缩算法在数据解码、编码时的复杂程度。这 3 个指标实际上是相互制约的,要求压缩比提高,则失真度也要增大或算法变得复杂。因此,只能在应用中,根据实际需要来综合选择最佳状态。

基于以上的评价标准,我们首先来分析

上述算法的压缩率。从前面的算法介绍可以看出,各算法的压缩率取决于组的大小和多少。分组越小,则每组数据的变化幅度减小,每个数据的压缩位也减少。但分组越小,则意味着组数增多,则存贮每组最小值所需的空间也加大。因此,GRIB 码二级压缩率的高低,取决于分组的原则。但一般来说,较小的分组往往带来较高的压缩率。方法 1 中分组的大小是固定的,且以格点场的行为单位,这就意味着压缩时每个分组是较大的,因此限制了其压缩率的提高。方法 2 比方法 1 有了很大的改进,其分组不再是固定卡,分组的大小也有所减小,因此其压缩效率会比方法 1 有所提高。方法 3 在前两种方法上做了进一步的改进,压缩率也得到了进一步的提高。通过实际例子的计算,我们也能得出这样的结论。

我们把几种方法作用于不同的实际气象场中,计算出每种方法处理数据后传输所需要的字节数(不包括描述信息),来统计其压缩效率。根据国外的一些资料看出,几种算法对于不同模式的结果是不同的。

4.1 LFM 模式

取 1992 年 7 月 16 日一个 LFM(有限域细网格 Limited-area Fine Mesh)模式的 33×29 的格点场,用 3 种算法分别对场中不同层次、不同时效的高度、温度、露点、边界层风及降水等变量的值进行了压缩处理,其 MINPK 和 INC 的值分别为 33 和 3。由所求出的压缩所需的比特数和字节数可以统计出,算法 2 优于算法 1,算法 3 优于算法 2。其中算法 1 在一级压缩的基础上对不同变量的提高率为 5% 到 15%,平均为 9%。分组越小(算法 1 到算法 3),提高的就越多。而算法 3 比一级压缩平均提高了 12%。

此外,由原理得知,MINPK 和 INC 值是算法 2、3 确定分组大小的决定因素。那么,变化的 MINPK 和 INC 值对压缩的结果会产生什么影响呢?我们同样对变化的 MINPK 和 INC 值对不同变量进行二级压缩。从统计结果可以看出,MINPK 在 17—99 之间的值所需的字节数是稳定的,且 INC 取 33 时,算法

2、3 是等效的。同时还可看出对这类场不能把分组取得过小,因为发现当每组值的个数 <8 时,传输每组值的开销反而比二级压缩所节约的要多 1~2 比特/值。

4.2 小尺度模式

随着数值预报的发展,为了更精确地反映气象场的情况,网格将越来越细,更多的小尺度信息要逐渐被考虑进来。这种变化会对二级压缩产生什么影响呢?为了研究这个问题,我们做了以下尝试。

取一个本身就包含小尺度信息的场,即 1992 年 8 月 19 日 NMC 的 ETA 模式 83×59 的格点场,对其 500hPa θ 、700hPa ω 、地表 T 和降水变量进行二级压缩。这个场具有比 LFM 模式更小尺度的信息,例如 700hPa ω ,每隔几个格点实际值的符号就要发生变化。分析表明,算法 3 优于算法 2,算法 2 优于算法 1,且都比一级压缩有所提高。对于降水场,算法 3 比一级压缩提高了 65%,这意味着传输一个一级压缩的场的空间,可以传输 2.89 个用算法 3 进行二级压缩的场,这种空间的节省是大幅度的,是卓有成效的。对于 4 个变量的总计,算法 3 比一级压缩平均提高了 37%,也是十分显著的。

从上面的讨论可以看出,GRIB 码二级压缩的压缩率对不同的气象场都是较高的,它确实可以进一步节省存贮空间。但是象前面提到的,压缩率的提高往往带来复杂度的增加。随着几种算法减少其压缩位的努力越多,随之而来的开销,所需要的有关非压缩值的变量也越多。同时,在传输时也要花费一定

的字节数传输这些额外增加的信息。例如,对于算法 2 和 3 都必须传输和存贮每组值的个数,这显然比算法 1 只需存贮一个行大小(对一个场只有一个)要增加开销。同理,为了进行压缩处理所需的集中计算量是很大的。现在已经有程序给出了由 MINPK 和 INC 值来确定二级压缩分组大小的算法。通常我们认为算法 2 在压缩率和计算量的协调上是较合适的。

但是,与增加的开销相比,二级压缩的效果还是很显著的。综合 LFM 和 ETA 模式的统计结果,可以得到算法 1、2、3 分别比一级压缩减少了 17%、26% 和 28% 的空间。这对节省存贮资源,便于传输通信都将起到很大的作用。这些压缩算法,还有待于我们进一步研究、探讨,并实际应用到气象业务中去。

参考文献

- 1 Harry, R. Glahn. On the Packing of Gridpoint Data for Efficient Transmission. U. S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service Office of Systems Development Techniques Development Laboratory, TDL office note 92-11, September 1992.
- 2 J. Stackpole. Why Binary Representation? World Weather Watch Technical Report No. 12, WMO Training Seminar on WWW Data Management and Monitoring Aspects, Hamburg, Germany, 2-6 December 1991. WMO/TD-No. 458.
- 3 国家气象中心. 实时气象资料数据库系统. 北京: 气象出版社, 1992 年 10 月.
- 4 周琴芳. 长期预报资料库及二进制压缩方法. 长期数值预报论文集, 北京: 海洋出版社, 1991 年 6 月.

Second-order Packing of GRIB Code

Zhao Fang Ying Xianxun

(The National Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract

GRIB code is a kind of binary packing code suitable for representing grid field data of NWP products. It's suggested by WMO nowadays.

Based on the principle of First-order Packing of GRIB code, this article's discussion centre on the conception, principle and methods of Second-order Packing of GRIB code.

Key Words: GRIB code second-order packing grid field