陆地卫星图象数字处理原理

苏民生　李铁芳

武汉地院北京研究生部遥感技术应用研究室

四 川 省 地 质 局 遥 感 站

内 容 简 介

本讲义共分两部份内容，第一部份介绍图象处理技术所必须的数学基础知识，主要包含线性代数，概率统计，付氏变换，二进制计数及逻辑运算等；第二部份内容为陆地卫星图象恢复、增强、分类等技术方法的基本原理和陆地卫星图象计算机协调（兼容）磁带(CCT)及图象处理设备的介绍。

此材料可供从事IOPS/101系统工作人员，遥感站图象处理技术人员，从事遥感工作的技术人员，有关专业的师生等参考。

序　言

随着遥感技术的发展，特别是遥感技术在地质上的广泛应用，对陆地卫星图象质量提出了更高、更多的要求。目前地质部引进了美国STC公司生产的IPOS/101图象处理专用设备，这就为图象处理技术应用提供了必要的技术手段。本讲义正是为培养应用图象处理技术的有关人员，了解图象处理的基本原理，从而进一步推广图象处理技术，提高目视判释水平而写的。

本讲义共分两部份，第一部份为图象处理的数学基础知识；第二部份内容介绍图象处理的几种常用方法及原理，列出处理的数学模式，每种方法尽量附有处理的实例，并针对应用的需要介绍了陆地卫星图象计算机协调（兼容）磁带（CCT）等有关知识。

本讲义的第一部份内容由苏民生编写；第二部份由李铁芳编写；周卡教授对讲义进行全面的审阅和修改；四川省地质局遥感站负责成图和校对工作。在此讲义编写过程中得到有关方面同志的支持和帮助，特此致谢。

由于我们水平所限，经验缺乏，必有欠妥之处，衷心希望读者批评指正。

编　者　1980.7.

目　　录

第一部份　陆地卫星图象数字处理数学基础

（一）二进制与逻辑运算简介

（二）线性代数基础知识

（三）概率统计基本知识

(四) 付氏变换基本知识

第二部份　陆地卫星图象数字处理原理

第一部份附表

第一部份　陆地卫星图象数字处理数学基础

(一)二进制与逻辑运算简介

§1.　二进制数

根据需要，人们使用不同的计数制。最常用的是十进制数，它使用十个数字：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，并采用“逢十进一”的进位规则。以度、分、秒来计算角度时，则是使用60进制，即60秒才进一位成为1分，60分才进一位成为1度。在电子计算机中，是凭借记忆元件两种状态来存贮信息的，犹如用一串灯泡来表示和记录数字。灯泡只有亮与不亮两种状态，分别代表数字1和0，更大的数，就需要采用“逢二进一”的规则，用更多的灯泡表示，即用更多的位数来表示。这就是二进制记数法。如果存贮一个数使用的位数多，所存的数就可以大一些；反之，使用的位数少，能够存贮的最大数就要小一些。所谓计算机存贮的“字长”，就是指为存贮一个数所提供的二进制位数。

为了表明所写的数是采用那一种计数制，我们在数的右下角注明，例如15_{10}表示十进制数15，101_2则表示二进制数101。

下表列出0～23的二进制数对照表

十进制数	二进制数	十进制数	二进制数	十进制数	二进制数
0	0000	8	1000	16	10000
1	0001	9	1001	17	10001
2	0010	10	1010	18	10010
3	0011	11	1011	19	10011
4	0100	12	1100	20	10100
5	0101	13	1101	21	10101
6	0110	14	1110	22	10110
7	0111	15	1111	23	10111

任意写出一个二进制数，它相当于哪一个十进制数呢？反之，一个十进制数如何转为二进制数呢？我们当然不能从0开始一个一个去数，而需要找到其转换公式。

以N为基数的计数制中，即采用"逢N进一"规则的计数制中，数$X_nX_{n-1}\cdots X_1X_0$的数值为 $X_nN^n+X_{n-1}N^{n-1}+\cdots+X_1N+X_0$。例如十进制数

$$2234_{10}=2\times10^3+2\times10^2+3\times10+4$$

对于二进制数，同样有

$$1011_2=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1=11_{10}$$

因此，只要将二进制数中数分为1的各位所对应的2的乘幂加起来，就可以知道这个数值的十进制写法。其中最低位对应的2的乘幂是 $2^0=1$，右起第2位对应的2的幂是$2^1=2$，右起第 i 位对应的2的幂是 2^{i-1}。从最低位开始依次为 1，2，4，8，16，32，…

由此可知八位二进制数

$$11010110_2=2^7+2^6+2^4+2^2+2=128+64+16+4+2=214_{10}$$

将十进制数转换为二进制数，要点是将十进制数分解为若干个二的乘幂之和。例如

$$38_{10}=32+6=32+4+2=2^5+2^2+2^1=100110_2$$

$$\begin{aligned}123_{10}&=64+59=64+32+27=64+32+16+11\\&=64+32+16+8+3=64+32+16+8+2+1\\&=2^6+2^5+2^4+2^3+2^1+1=1111011_2\end{aligned}$$

上述2—10进制的互换，计算机都有专门的程序去数，使用高级语言时则可以直接使用大家所熟知的十进制数。

二进制数的算术运算规则，和十进制数相同，仅仅是将十进制数中"逢十进一"的规则改为"逢二进一"。例如

$$1011_2+1101_2=11000_2$$

其算草如下：

$$\begin{array}{r}1\,0\,1\,1\\+\quad1\,1\,0\,1\\\hline1\,1\,0\,0\,0\end{array}$$

$$101_2\times110_2=11110_2$$

其算草如下：

$$\begin{array}{r}1\,0\,1\\\times\quad1\,1\,0\\\hline1\,0\,1\\1\,0\,1\\\hline1\,1\,1\,1\,0\end{array}$$

§2. 十六进制数

计算机虽然是用2进制数处理问题，但是二进制数写起来太长了，读、写很麻烦。为了既便于人们读写，又适应机器处理的特点，可以将二进制数截成每3位或每4位一组，这就

成为八进制数和十六进制数。

十六进制数是“逢十六进一”，它应当有16个数字，因此，除了0至9这10个数字之外，还增加了A至F这6个字母，分别代表数值10，11，12，13，14和15，0至15的二、十、十六进制数对照表如下。

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

由此表可知，一位十六进制数可看成是四位二进制数的缩写。

十进制与十六进制之间的转换，可以通过二进制来过渡，也可以直接转换。

例如：利用二进制过渡

$$25_{10}=16+8+1=2^4+2^3+2^0=11001_2=19_{16}$$

或者直接转换

$$25_{10}=16^1+9=19_{16}$$

十六进制数是以十六为基数的，因此，转换为十进制数时，只要将每位数字乘以相对应的十六的幂，再将这些乘积相加就可得到结果。

$$2B14_{16}=2\times16^3+11\times16^2+1\times16+4=2\times4096+11\times256+16+4$$
$$=11028_{10}$$

在计算机中，把1个二进制位称为bit，还常常把8个二进制位称为byte，译为“字节”。1个字节的内容，可以用2位16进制数表示，例如 $1A_{16}=0001\ 1010_2=26_{10}$ 卫星磁带CCT中，每个象元的亮度值用1个字节来记录，进行有关研究时常常需要把每个字节的内容转换为十进制数。

§3. 逻辑运算

逻辑变量是取值为真（TRUE）或假（FALSE）的一类特殊的变量。为了便于叙述，可以分别用1和0代表逻辑值 TRUE（真，是）和FALSE（假，否）。

逻辑变量在实际应用中应当表示一个命题，或称为判断。例如“N值小于100”，这是一个命题，可用一个逻辑变量A表示。当N值为5时，A值为“真”，当N值为100时，A值为

"假"。再如"N 是偶数"，这也是一个命题，可用逻辑变量B表示。当N值为10时,B值为"真"，当N值为15时，B值为"假"。

逻辑变量可以进行运算，其运算结果仍是一个逻辑量，取逻辑值。这里介绍与、或、非三种运算。

逻辑变量A和B的"与"记作$A \times B$，也可以写成AB。当A和B都取值为"真"时,$A \times B$的值是"真"；否则$A \times B$的值为"假"。

按通常的意义，"与"就是"并且"、"同时"的意思，$A \times B$可以说是"A同时B"。如果A指"N值小于100",B指"N是偶数",则$A \times B$的意义是"N值小于100并且是偶数"，显然当N为10时$A \times B$为真，而当N为5时$A \times B$为假。

逻辑变量A和B的"或"记做$A + B$。当A和B当中至少有一个取值为"真"时，$A + B$的值为"真"；而当A和B都是"假"时，$A + B$的值也是"假"。例如当A表示"N小于100"而B表示"N为偶数"时，$A + B$的意义是"N小于100或者N是偶数"。因此当N为120时$A + B$为真，当N为5时$A + B$为真，当N为10时$A + B$为真，而当N为101时$A + B$为假。

逻辑变量A的"非"记做$\bar{A}$，它取与A相反的值：当A为"真"时$\bar{A}$为"假"，而当A为"假"时$\bar{A}$为真。例如当A表示"A小于100"时，$\bar{A}$的意义是"N不小于100"，也可以说成"N大于或等于100"。因此，当N值为5时，A为真而$\bar{A}$为假,而当N值为100时A为假而$\bar{A}$为真。

上述三种运算规则，如果用1表示逻辑值"真",用0表示逻辑值"假",可列成下表：

A	B	$A \times B$	$A + B$	$\bar{A}$
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
0	1	0	1	
1	1	1	1	

上表称为"真值表"。对于任何逻辑表达式都可列出真值表来研究。

对于二进制数可以进行逻辑运算。例如有二进制数 $N = 10110110$，如果用另一个二进制数 $A = 00001111$ 去和N逐位进行逻辑乘，为了和算术运算相区别，用符号∧表示逻辑乘，则有

$$N \wedge A = 00000110$$

用 $B = 11110000$ 去和N逐位做逻辑乘，则有

$$N \wedge B = 10110000$$

其中 NVA 是将N的后4位"截取"出来，$N \times B$ 则是将N的前4位"截取"出来,因此也有把这种运算称为"掩码"的。为了截取一个数的某些位，只要用一个适当的数去和它进行逻辑乘就可以实现。

如果计算机的一个存贮单元有2个字节，而每个象元亮度值存贮占用一个字节，并用十

六进制数写出，例如：

$$N = 1A1B$$

为了分离出第二个亮度值，取

$$A = 00FF$$

则可得到

$$N_\Lambda A = 001B$$

为了分离出第一个亮度值，取

$$B = FF00$$

则可得到

$$N_\Lambda B = 1A00$$

再将$N_\Lambda B$右移8位，就得到第一个亮度值 1A 。

使用电路来实现逻辑运算，就成为逻辑电路。逻辑电路是电子计算机的基础，实现各种逻辑运算的各种逻辑元件是电子计算机的细胞。

（二）线性代数基础知识

图象数字处理方法所涉及的线性代数有关内容，在各种线性代数教科书中都有详细论述。这里为了便于没有时间翻阅详细论著的同志了解这方面的基础知识，简要地介绍行列式、向量、矩阵、特征值与特征向量等概念，以及一些简单的运算。有关的性质，不采用定理的形式加以论证，而是叙述其意义，并通过少量例题帮助理解。如需了解更详细的内容，请看有关教科书或专著。

第一章　行　列　式

中学代数里，解一次联立方程时用到二阶行列式

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

例如

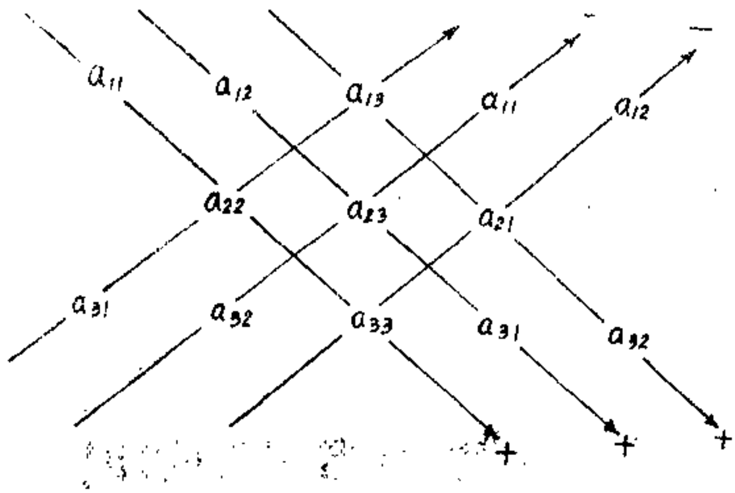
$$\begin{vmatrix} 3 & 4 \\ -4 & 3 \end{vmatrix} = 3\times3 - 4\times(-4) = 9 + 16 = 25$$

还用到三阶行列式

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33}+a_{12}a_{23}a_{31}+a_{13}a_{21}a_{32}-a_{11}a_{23}a_{32}$$

$$-a_{12}a_{21}a_{33}-a_{13}a_{22}a_{31}$$

为了帮助记忆3阶行列式的展开式，可使用下图：



图中有6条斜线，每条线上的3个数之积就是展开式中的一项，该项的正负号标注在这条线的箭头之后。

分析一下这个展开式，可看到它是6项的代数和，每项是3个数之积，这3个数在行列式中既不在同一行又不在同一列。每个乘积中，这里是把第一行的元素作为第一个因子，把第二行的元素作为第二个因子，等等。每项的正负号，决定于这3个因子所在的行、列数，这点放到后面讨论。

多元一次联立方程，叫做线性方程组。如有n个未知数，叫做n阶线性方程组。研究n阶线性方程组的解法时，用到n阶行列式。

和2阶、3阶行列式一样，n阶行列式是将$n\times n$个数排列成n行n列，放在两条竖线之间，每个数称为行列式的一个元素。它表示若干项的代数和，其中每一项是n个元素之积，这n个因子是既不在同一行又不在同一列中的。这样的乘积应当有n个。

§1.1 排列和逆序

为了确定行列式展开式中各项所冠以的正负号，先讨论排列和逆序。

由1、2、3、…、n所构成的一个有序数组称为一个n级排列，排列中的某一对数如果大数在前小数在后就称为是一个逆序，一个排列中逆序的总个数称为这个排列的逆序数。

例如 4213 是一个4级排列，其中的逆序有 42，41，43，21，共有4个，这个排列的逆序数是4。再如4级排列 2431 的逆序数是4，5级排列 45321 的逆序数是9。

我们用 $a_1a_2\cdots a_n$表示一个n级排列，它的逆序数记为 $N(a_1a_2\cdots a_n)$。逆序数是排列的

函数。

3阶行列式的展开式中的每一项是3个元素的乘积。把这3个元素按行号的顺序来写，例如 $a_{13}a_{22}a_{31}$，即让行下标为1的元素写在最前面，第二个是行下标为2的元素，等等，那么，这3个元素的列下标（第二个下标）就构成一个3级排列。例如上面那一项的列下标是321，是一个3级排列。它的逆序数N（321）＝3。再如乘积 $a_{12}a_{23}a_{31}$ 的列下标排列是231，它的逆序数 N（231）＝2 查看每一项的列下标排列的逆序数，可以看出，凡该项前面冠以正号的，该逆序数为偶数；凡该项前面冠以负号的，该逆序数为奇数。我们把这个规律用于定义n阶行列式展开式各项应冠以的正负号。

§1.2 n阶行列式的定义

n×n个数构成的n阶行列式是指

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12}\cdots\cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}\cdots\cdots a_{2n} \\ & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2}\cdots\cdots a_{nn} \end{vmatrix}$$

或简记为 $D=|aij|$ $(i,j=1,2,\cdots,n)$，它代表 n! 项的代数和，这些项是一切可能的取自不同行与不同列的n个元素的乘积，每项前面的正负号则由当该项的n个因子按行下标顺序写出时其列下标排列的逆序数所决定，这个逆序数为偶数时取正号，为奇数时取负号，即

$$D=|a_{ij}|=\Sigma\ (-1)^{N(\alpha_1\alpha_2\cdots\alpha_n)}a_{1\alpha_1}a_{2\alpha_2}\cdots a_{n\alpha_n}$$

其中α 是每项第i个因子的列下标。

（例1） 依照定义写出4阶行列式的展开式。

含有 a_{11} 的各项，它的另外3个因子应当取自第2至4行和第2至4列，即它们是这3行3列构成的行列式的展开式中每项的3个因子。含有 a_{12}、a_{13}、a_{14} 的各项也可用同样的方法写出，因此展开式为

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}=a_{11}a_{22}a_{33}a_{44}+a_{11}a_{23}a_{34}a_{42}+a_{11}a_{24}a_{32}a_{43}$$

$$\begin{aligned}
&-a_{11}a_{22}a_{34}a_{43}-a_{11}a_{23}a_{32}a_{44}-a_{11}a_{24}a_{33}a_{42}\\
&-a_{12}a_{21}a_{33}a_{44}-a_{12}a_{23}a_{34}a_{41}-a_{12}a_{24}a_{31}a_{43}\\
&+a_{12}a_{21}a_{34}a_{43}-a_{12}a_{23}a_{31}a_{44}-a_{12}a_{24}a_{33}a_{41}\\
&+a_{13}a_{21}a_{32}a_{44}+a_{13}a_{22}a_{34}a_{41}+a_{13}a_{24}a_{31}a_{42}\\
&-a_{13}a_{21}a_{34}a_{42}-a_{13}a_{22}a_{31}a_{44}-a_{13}a_{24}a_{32}a_{41}\\
&-a_{14}a_{21}a_{32}a_{43}-a_{14}a_{22}a_{33}a_{41}-a_{14}a_{23}a_{31}a_{42}\\
&+a_{14}a_{21}a_{33}a_{42}+a_{14}a_{22}a_{31}a_{43}+a_{14}a_{23}a_{32}a_{41}
\end{aligned}$$

这个展开式是 $4!=24$项的代数和，其中每项的4个因子是按所在行号的顺序写出的，因此该项前面的正负号可由其列下标排列的逆序数所决定。如式中第一项列下标排列的逆序数 $N(1\ 2\ 3\ 4)=0$，该项前面写正号，第二项列下标排列的逆序数 $N(1\ 3\ 4\ 2)=2$，该项也取正号，第四项列下标排列的逆序数 $N(1\ 2\ 4\ 3)=1$，该项取负号。

（例2）计算五阶行列式

$$\begin{vmatrix} a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e \end{vmatrix} \qquad (a,\ b,\ c,\ d,\ e\neq 0)$$

这个行列式的展开式共有 $5!=120$ 项，但其中只有一项 $abcde$ 不为0，该项应取正号，所以

$$\begin{vmatrix} a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e \end{vmatrix} = abcde$$

（例3）计算行列式

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{vmatrix} \qquad (a_{11},\ a_{22},\ a_{33},\ a_{44}\neq 0)$$

这个4阶行列式的展开式有 $4!=24$ 项，而其中只有一项 $a_{11}a_{22}a_{33}a_{44}$ 不包含因子0，且该项取正号，所以

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33}a_{44}$$

这样的行列式称为上三角行列式，其主对角线（从左上角到右下角的对角线）以下的元素全为0，其值等于主对角线元素之积。

由n阶行列式的定义可知，第一，行列式是有特定形式的一个代数式的简单的记法，它的计算结果应当是一个数值，因此在算式或方程中行列式可以作为一个数出现。第二，依照定义的规则计算行列式的值是很烦琐的，当n较大时计算量是很可观，因此需要有实用有效的计算方法。为此先讨论行列式的性质。

§1.3 行列式的性质

性质1 行列式的行与列互换（即将行变作列），其值不变，即

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & \cdots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{n2} \\ & \cdots & & \\ a_{1n} & a_{2n} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

这种行与列的互换，称为转置。行列式D的转置矩阵记为 D^T ，且有 $D^T = D$ 。

例如若有三阶行列式

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 4 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}$$

它的转置行列式

$$D^T = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 \\ 3 & 4 & 3 \end{vmatrix}$$

显然

$$D = D^T = 6$$

由性质1可知，与行列式的行有关的性质，对于列同样适用。

性质2 交换行列式的两行（或列），行列式改变符号，其绝对值不变。

例如

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{vmatrix} = -\begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 2 \end{vmatrix}$$

性质3 以任意数乘行列式，等于用同一数乘行列式的任一行（或列）的各个元素，即

$$k\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ & \cdots & & \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{in} \\ & \cdots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ & \cdots & & \\ ka_{i1} & ka_{i2} & \cdots & ka_{in} \\ & \cdots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

例如

$$2\begin{vmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 3 \end{vmatrix}$$

因此，如果行列式某一行（或列）的各元素有公因子，则可将此公因于提到行列式记号之外。

性质4 若行列式有一行（或列）的元素都是0，则行列式等于0。

性质5 行列式某一行（或列）的各元素若都等于某两数之和，则行列式可化为两个行列式之和，有