

Hadamard变换用于资料联立采集

王 维 佳

(地矿部石油物探研究所)

摘 要

王维佳: Hadamard 变换用于资料联立采集, 《石油地球物理勘探》, 24 (3) 1989: 241~247

多源联立资料采集的概念是 Garotta(1983) 首先提出的, 但是, 他只给出两个源联立激发的编码与解码公式。实际上采用 Hadamard 变换可以实现多源或多接收器的资料联立采集。通过 Hadamard 编码, 可用单道同时对多源或多接收器的数据进行记录, 再用 Hadamard 反变换进行解码分离, 便可得到各单源或单接收器的观测结果。文中给出 $2N$ 阶 Hadamard 矩阵, 并推导出相应的编码—解码公式。对于 N 次编码来说, 其解码记录要比原单次记录增强 N 倍, 这相当于起了垂直叠加的作用。随机干扰不存在编码关系, 所以联立采集有压制干扰的作用。采用资料联立采集还可以大大加快野外施工速度, 使少道仪器发挥出多道仪器的作用。本法不仅适用于地震勘探, 原则上也适用于其它应用人工源的地球物理方法。采用本法时, 有必要用专门的现场编码设备进行质量控制。

关键词: Hadamard 变换 资料联立采集 多源编码—解码

ABSTRACT

Wang Weijia: Hadamard transformation for simultaneous data acquisition, OGP, 24 (3) 1989: 241~247

The conception of simultaneous multiple-source data acquisition was first proposed by Garotta in 1983; however, he only presented encoding and decoding formulas for two simultaneous seismic sources. As a matter of fact, Hadamard transformation can be used to achieve simultaneous multiple-source or multiple-receiver data acquisition. With the use of Hadamard transformation, the data of multiple sources or multiple receivers can be simultaneously recorded in a single channel; then the record can be decoded into single-source or single-receiver data by making inverse Hadamard transformation. Hadamard matrix of

2N order is given, and the relevant encoding and decoding formulas developed. As for the encoded record of N order, the decoded signal is N times larger than primary one-fold signal, which means a vertical stacking. The simultaneous data acquisition can suppress noise because there is no encoding for random noise. The simultaneous data acquisition may speed up field operation and make instrument with less channels serve as instrument with more channels. This method applies to both seismic exploration and other geophysical explorations that use artificial sources. It is necessary to use special in-situ decoder to control the quality.

Key words: Hadamard transformation, simultaneous data acquisition, multisource code-decode

前 言

地球物理勘探中最繁重、最费钱的工序莫过于野外资料采集。一个好的设想往往因野外工作量过大而不能实现,例如为研究钻孔附近的地下地质情况,最好布置多方位或多偏移距 VSP 测量。然而,若按常规采集方法,只好一个方位一个方位地,或一个偏移距一个偏移距地观测。这就得多次下放和提升井下仪器,从而导致工期延长,成本提高。由于昼夜连续作 VSP 测量,人员疲惫,风险必然增大。可是,用编码和解码的联立方式,一次提升就能获得多方位或多偏移距 VSP 资料。事实上,联立采集资料的潜力还远不止于此。

多源联立资料采集的概念是 Garotta^[1]首先提出的,但他只给出两个源联立激发的编码与解码公式。Garotta 指出,多源联立采集可以加快陆上三维地震测量。如果再使用不同扫描频率的可控震源及相关处理,还可以一次施工就可获得常规地震剖面 and 浅层高分辨率剖面。他们后来还实现了两种偏移距 VSP 资料的联立采集。

在此思路启发下,笔者曾提出用 Hadamard 变换进行编码和解码,这样就可以对任意多个源或接收器作联立资料采集^[2]。计算机模拟结果也支持了这一设想。

后来由 Geosource 公司的 Skjott 先生等人的介绍得知,该公司已经实现了任意多源或多接收器的联立资料采集^[3],且研究了专用的相关器及现场监测设备投放市场。文献[3]提供的思想既新颖、又丰富,而且有不少成功的实例。可惜该文并未公开联立采集的关键——编码与解码方案。本文要证明, Hadamard 变换可以解决这一关键问题。

原 理

本文讨论的是联立资料采集问题。所谓多源编码,是指将若干个源按一定的极性关系同时激发,从而得到复合波场的过程;解码是从复合波场的记录恢复出相应于单源激

发时的记录。多接收器的编码是指将若干接收器的输出以一定的极性关系叠加在一起,构成复合记录的过程;解码是从复合记录恢复出单接收器的记录。

多源编码—解码的目的是为了减少野外布置观测系统(例如放排列、提升井下检波器)的次数。多接收器编码—解码则可减少对仪器道数的需求(以少道仪器代替多道仪器)。两种方式所依据的原理是一样的,可以统称为多功能编码—解码。

原则上说,多功能编码相当于建立一组联立方程,解码相当于解联立方程。人们熟知的 Hadamard 变换^[4]能够恰当地承担这一任务,因为它只要求源(或接收器)能够反极性。

设 $\mathbf{r}$ 为被变换的 N 阶向量。我们令它的每一元素对应一个源(或接收器)的记录采样值。令 $\mathbf{R}$ 为变换后的 N 阶向量,它是上述采样值的编码。用 $\mathbf{H}$ 表示 N 阶变换矩阵,或称 Hadamard 矩阵,则 Hadamard 正变换

$$\mathbf{H}\mathbf{r} = \mathbf{R} \quad (1)$$

就完成所要求的编码。Hadamard 反变换

$$\mathbf{H}\mathbf{R} = N\mathbf{r} \quad (2)$$

可完成所求的解码。由于式(1)和式(2)对每一采样时刻都成立,所以 $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{R}$ 可以看成记录向量。

已知最低阶 ($N=2$) Hadamard 矩阵为

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

及 Hadamard 矩阵满足递推关系。即如果记 N 阶 Hadamard 矩阵为 $\mathbf{H}_N$, 则 $2N$ 阶 Hadamard 矩阵可表示为

$$\mathbf{H}_{2N} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_N & \mathbf{H}_N \\ \mathbf{H}_N & -\mathbf{H}_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

于是任意阶 (2^n , n 为正整数) Hadamard 矩阵、Hadamard 变换都不难写出。

以下看一些具体例子。我们用 $r_j(t)$ 表示第 j 个单源(或单接收器)的记录, $R_k(t)$ 表示第 k 个编码记录。

当 $N=2$ 时, Hadamard 编码公式为

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

解码公式为

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

这正是 Garotta 给出的二源编码—解码公式。

按递推关系(3)容易得出 $N=4$ 的编码公式

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \\ r_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

以及解码公式

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \\ r_4(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

如此可以继续推出任意阶的编码—解码公式。

应该指出,即使被编码的记录数不足 2^n ,也同样可以进行编码和解码。例如,当只有三个源(或三个接收器),不失一般性取 $r_4(t) = 0$,则由式(7)得到编码关系

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

由式(8)得到如下解码关系

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

文献[3]提供的三个接收器的编码公式,恰恰是这里的式(9)。该文中没给出三个接收器的解码公式,我们确信那就是本文的式(10)。该文还提到用两个可控震源进行8次扫描编码的VSP测量实例,但未给出编码和解码公式,然而用本文的方法容易直接写出其编码公式

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \\ R_5(t) \\ R_6(t) \\ R_7(t) \\ R_8(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

以及相应的解码公式

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \\ R_5(t) \\ R_6(t) \\ R_7(t) \\ R_8(t) \end{pmatrix} = 8 \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

对于 N 次编码来说, 其解码记录比原来的单次记录增强 N 倍。这相当于起了垂直叠加的作用。但是随机干扰不存在编码关系, 所以联立采集将有压制随机干扰的作用。

模 拟 例 子

为增加直观性, 以下给出对 Hadamard 编码—解码过程的计算机模拟例子 (取 $N=4$)。所采用的单源 (或单接收器) 理论记录均为向上扫描连续振动信号, 但振幅略有不同 (图 1 到图 6 的 a。其中, 图 1 到图 3 假设信号同时到达, 图 4 到图 6 信号先后到达); 多源 (或多接收器) 的编码记录示于各图的 b (其中, 图 1 和图 4 没有随机噪声, 其余有不同程度的随机噪声); 用扫描信号对编码信号作互相关, 示于各图的 c, 它们

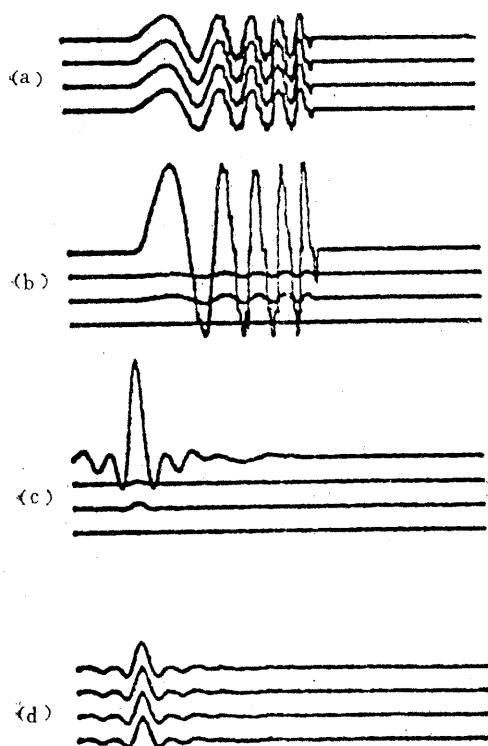


图 1 信号同时达到, 噪声水平为零

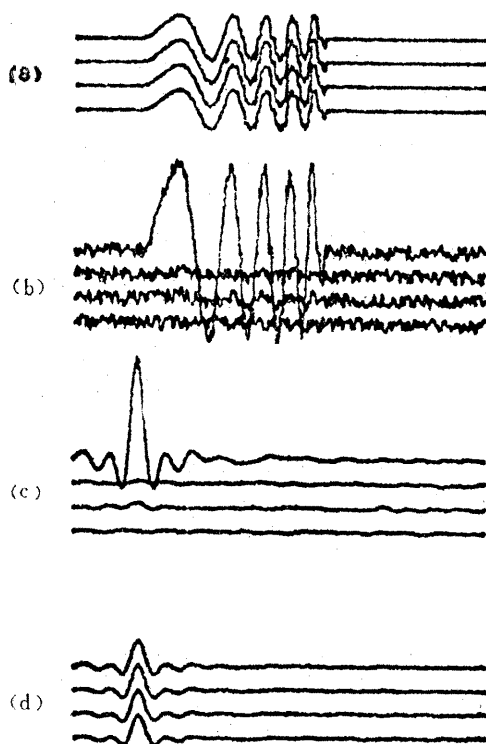


图 2 信号同时达到, 噪声水平为 0.05

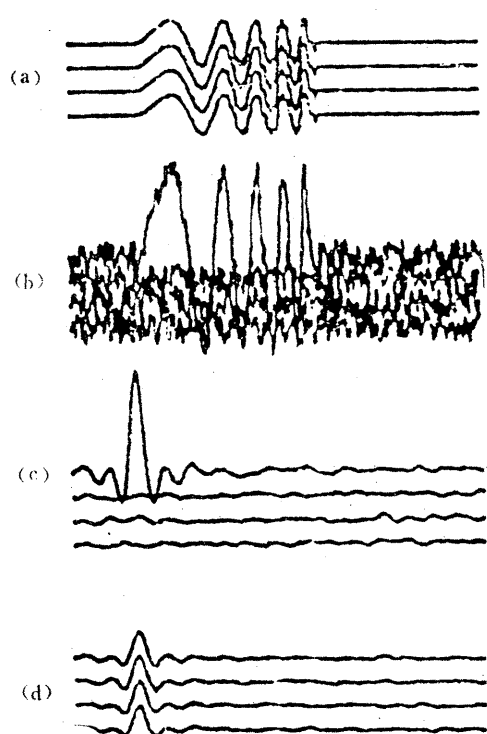


图3 信号同时达到，噪声水平为0.1

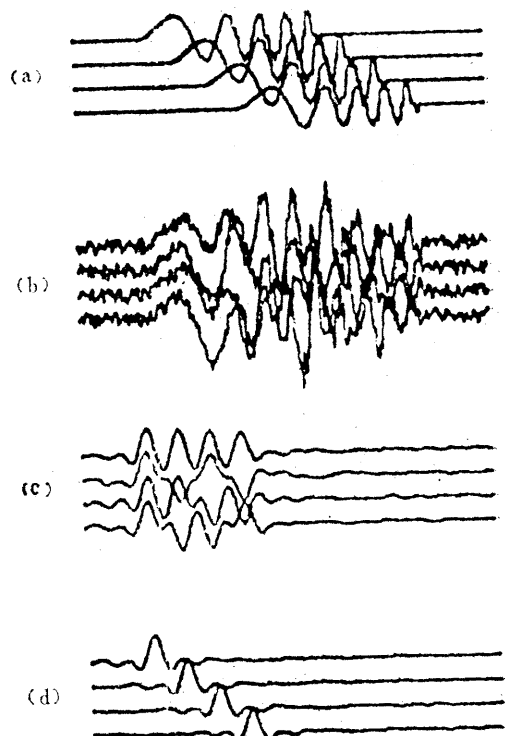


图4 信号先后到达，噪声水平为零

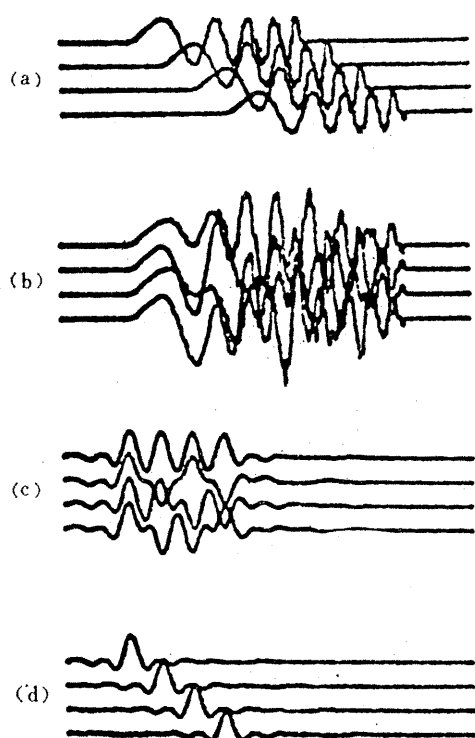


图5 信号先后到达，噪声水平为0.05

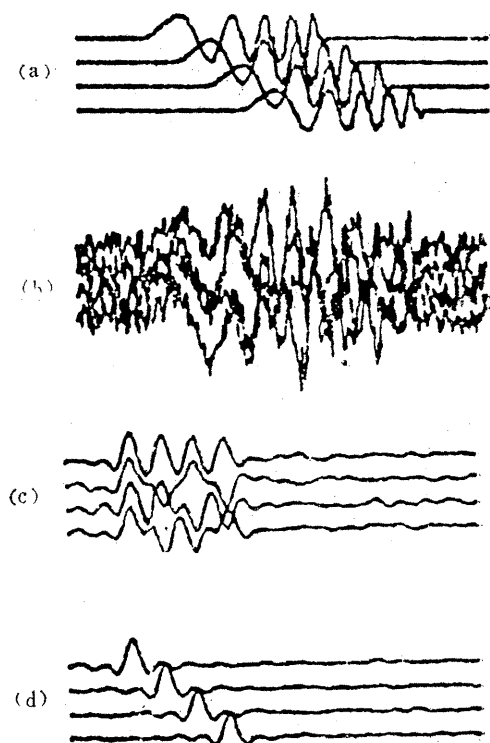


图6 信号先后到达，噪声水平为0.1

相当于 Klauder 子波的编码记录, 所以仍然是混合状的; 最后, 经过解码并除以 4, 就得到一系列 Klauder 子波信号 (见各图的 d), 它们的振幅与原始信号振幅相应, 出现位置也与原始信号的时刻一致。

对比以上各图, 可以看到本法确有压制随机干扰的作用。

结 论

Hadamard 变换可用于多源 (或多接收器) 联立资料采集的编码与解码。它不仅适用于地震勘探, 原则上也可用于其它使用人工源的地球物理方法。这种方法在加快资料采集和扩大现有仪器能力方面是极富潜力的, 它也将为改善资料质量创造条件。但是应该指出, 为保证施工质量, 有必要用专门的现场解码设备进行质量控制。

最后, 作者对翁史杨高级工程师的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Garotta, R.: Simultaneous recording of several vibroseis seismic lines, Expanded Abstracts of SEG 53rd Annual International Meeting, 1983
- [2] 王维佳: 多源联合资料采集, 内部资料, 1987
- [3] Khan, T. A., Olson, E. L.: Field productivity: a challenge to manufacturers of field systems. Expanded Abstracts of SEG 57th Annual International Meeting, 1987
- [4] 冈萨雷斯, R. C., 温茨, P. 著, 李叔梁等译: 《图像数字处理》, 科学出版社, 1983

· 新书介绍 ·

《地震物理模拟》, J. A. 麦克唐纳, G. H. F. 加德纳, F. J. 希尔特曼编, 许大坤译, 牛毓荃校。

本书是美国休斯顿大学地震声学实验室关于物理模拟方法理论的部分研究成果汇编, 共选论文七篇。介绍了地震反射数据的物理和数值模型模拟的方法和应用, 内容涉及二维和三维物理模型的速度计算; 模型成像中的绕射效应; 有限元法及波动理论同模型试验的比较; 模拟油田的垂直地震剖面法研究以及用模型技术发展煤层勘探等。通过这些论文, 我们可以大致了解物理模型模拟和数值模型模拟的研究方法以及可能取得的成果。本书文字简炼, 叙述清楚, 对地震勘探工作者及大专院校有关师生均有较高的参考价值。

本书已由石油工业出版社出版, 每册定价 2.00 元。