

文章编号:1000-582X(2004)03-0094-03

医学图像多分辨率编码在 PACS 中的应用*

李晴辉

(第三军医大学西南医院信息科,重庆 400038)

摘要:在医学图像管理与传输系统(PACS)中需要高效率地传输和浏览医学图像资料,而多分辨率图像编码是提高图像压缩效率的重要措施。通过研究二维图像小波变换的迭代特征,提出了一种适用于 PACS 系统的医学图像多分辨率编码算法,该算法优先对频率较低的子带图像进行编码,再依次对频率较高的子带图像进行编码;在传输和回放时先处理频率较低的子带图像,再依次处理频率较高的子带图像。实验表明,该算法可以有效地提高 PACS 中医学图像传输和回放的速度。

关键词:医学图像;多分辨率;小波变换;图像管理与传输系统

中图分类号:Q-334

文献标识码:A

多分辨率编码是指在图像编码中对原图像进行渐进编码,先对其中的主要信息编码,再逐步对次要信息、人眼不太敏感的信息编码^[1-5]。在 PACS 中,浏览和回放图像是使用图像最常见的操作;在浏览和回放图像时,一个患者的医学影像资料可能很多(如 CT 图像等),在时间上不允许医生对患者每幅医学影像都完整查看,而且也没有必要,因为医生通常都只需仔细观察其中的某一幅或几幅图像(如 CT 的某一个或几个断层),对其他图像资料只大致浏览。所以,多分辨率编码在 PACS 中有非常重要的实用价值。

二维图像的小波变换是一个迭代计算过程,利用这种特征可以便利地实现图像的多分辨率编码。作者提出了一种基于小波混合编码算法的医学图像多分辨率编码方法,实验表明,该算法可以有效地提高 PACS 中医学图像传输和回放的速度。

1 二维图像小波变换及其迭代运算特征

二维图像的小波分解通常采用 Mallat 算法,其过程可简单表示为如下形式^[6-7]:

$$C_{j+1} = H_r H_c C_j \quad (1)$$

$$D_{j+1}^1 = H_r G_c C_j \quad (2)$$

$$D_{j+1}^2 = G_r H_c C_j \quad (3)$$

$$D_{j+1}^3 = G_r G_c C_j \quad (4)$$

其中, $j=0, 1, 2, \dots, J$; C_j 为在第 j 尺度上对原图

像的逼近; C_0 为原始图像; $D_{j+1}^1, D_{j+1}^2, D_{j+1}^3$ 分别为原图像在第 $j+1$ 尺度上的水平、垂直及对角方向的细节信息; H_r 和 H_c 分别表示作用于行和列的低通滤波器算子; G_r 和 G_c 分别表示作用于行和列的高通滤波器算子,它们和选定的小波基有关。如果以 H^* 和 G^* 分别表示 H 和 G 的对偶算子,则重构算法表示为:

$$C_j = H_r^* H_c^* C_{j+1} + H_r^* G_c^* D_{j+1}^1 + G_r^* H_c^* D_{j+1}^2 + G_r^* G_c^* D_{j+1}^3 \quad (j = J, \dots, 1, 0) \quad (5)$$

由此可见,二维图像的小波分解实际将原图像 C_0 或某尺度、某频段的逼近图像 C_j 作滤波处理后得到更小尺度、更低频段的细节 $D_{j+1}^1, D_{j+1}^2, D_{j+1}^3$ 和逼近 C_{j+1} ; 经过逐次迭代,最后将得到一组分别代表不同频段和不同尺度的水平、垂直、对角方向的细节信号和对原图像的逼近信号。相反地,在图像重建时,只要根据较小尺度和较低频段的逼近 C_{j+1} 和细节 $D_{j+1}^1, D_{j+1}^2, D_{j+1}^3$, 就可重建出较大尺度和较高频段的逼近 C_j , 不断迭代,直到重建出原始图像 C_0 。

从上面的分析已经知道,二维图像的小波分解实际就是把原始图像分解成一组子带图像,这些子带图像包含一个低频分析子带图像和多个高频细节子带图像。其中,低频分析子带图像包含了原图像的大部分能量,反映了图像的主要轮廓;而高频细节子带图像是原图像细节

* 收稿日期:2003-11-20

作者简介:李晴辉(1968-),男,重庆人,第三军医大学工程师,博士,主要从事医院信息管理研究工作。

信息在不同频段、不同尺度的体现。所以，二维图像的小波分解实际是迭代渐近分离出细节信息的过程，又把二维图像的小波分解称为图像的多分辨率分析，这种特征为实现图像的多分辨率编码提供了有利条件。

2 基于混合编码的多分辨率编码算法设计^[5,8]

在 PACS 图像编码时，可以充分利用二维图像小波分解的迭代特性实现图像的多分辨率编码。对二维小波分解后的各子带图像进行分层编码，先编码图像的低频轮廓信息，再编码图像的细节信息；或者说，先编码图像的低频分析子带图像，再编码频段较低的高频细节子带图像，最后编码频率最高的细节子带图像。另外，对不同子带图像采用不同的编码方法，包含最大能量的低频分析子带图像，采用无损的 JPEG 编码算法；对频段较低的高频细节子带图像采用量化误差较小的有损编码算法，而频率较高的细节子带图像采用量化误差较大的有损编码算法。在医生浏览或回放图像时，先解码出低频分析子带图像，让医生可以得到图像的大致轮廓信息；如果医生认为需要进一步知道图像的细节部分，便解码高频细节信息，并将细节信息补充到已显示出的轮廓图像中；而且，这种解码过程和二维图像小波重构时的迭代特性是一致的，无须重复计算，提高了效率。具体而言，多分辨率算法的实现过程为：

1) 把原始图像作迭代二维小波分解 2 次，便得到 2 个频段的 6 个高频细节子带图像 $LH_j, HL_j, HH_j (j = 1, 2)$ 和一个低频分析子带图像 LL_2 。

2) 由于 LL_2 包含了原始图像的大部分低频信息，人眼对这部分信息最敏感，所以采用无损的 JPEG 标准压缩编码。

3) 对 LH_2, HL_2, HH_2 3 个高频细节子带图像采用基于数据局部特征的自适应量化算法^[8]。考虑到人眼对 LH_2, HL_2, HH_2 的细节信息较 LH_1, HL_1, HH_1 更敏感，所以要求这 3 个细节子带图像的量化误差较小，因此子块的尺度大小选择 4×4 ，中心偏差阈值选择为该子带图像样本标准差的 80%，其他过程和前面讨论的混合编码算法中相应的部分相同。

4) 类似地， LH_1, HL_1, HH_1 3 个子带图像的编码仍采用基于数据局部特征的自适应量化算法，但由于人眼对这个频段的细节信息已不很敏感，允许量化时有较大的误差，所以子块的尺度大小选择 8×8 ，中心偏差阈值选择为该子带图像样本标准差的 120%，其他过程和前面讨论的混合编码算法中相应的部分相同。

这样，就完成了图像的多分辨率编码。在 PACS 中采用多分辨率编码的主要目的并非通常意义下的增

加压缩比以提高压缩效率，更重要的是提高医生浏览和回放图像的速度，所以，讨论图像多分辨率编码算法的最终目的实际是为了在浏览和回放图像时能渐进展示图像细节的效果。因此，还有必要讨论多分辨率编码图像的解码过程，实际步骤是：

1) 先解码低频分析子带图像 LL_2 的数据，给用户展示原图像的大致轮廓图像；

2) 解码次高频细节子带图像 LH_2, HL_2, HH_2 ，并结合已解码的 LL_2 的信息，按照

$$LL_1 = H_r^* H_c^* LL_2 + H_r^* G_c^* HL_2 + G_r^* H_c^* LH_2 + G_r^* G_c^* HH_2 \quad (6)$$

重构 LL_1 ，并将 LL_1 显示出来。由于高频细节信息 LH_2, HL_2, HH_2 的充实，这时就可以观察到图像的更多细节部分，显示的图像质量也更好。

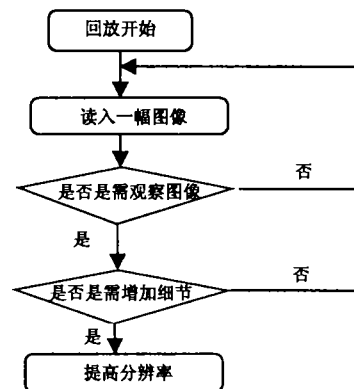
3) 解码高频细节子带图像 LH_1, HL_1, HH_1 ，并结合已重构的 LL_1 的数据，按照

$$LL_0 = H_r^* H_c^* LL_1 + H_r^* G_c^* HL_1 + G_r^* H_c^* LH_1 + G_r^* G_c^* HH_1 \quad (7)$$

重构 LL_0 (即原始图像)，再将其显示出来。由于高频细节信息 LH_1, HL_1, HH_1 的补充，这时就可以观察到图像的更多细节信息，恢复了最后的图像。当然，由于高频细节图像的有损压缩，会丢失部分人眼不敏感的高频信息。

医生在浏览和回放图像的过程中，解码是渐近完成的，可以在用户获得所需信息时适时终止解压缩过程，从而加快回放速度。

在 PACS 中作图像回放时，医生就可按图 1 的流程处理：



1 多分辨率编码图像的回放处理流程

3 多分辨率编码结果

图 2 是把上面讨论的多分辨率算法应用到 PACS

中医学图像(364 × 364 的腹部肝脏图像)的结果。这里只选取了3种不同分辨率,其解码后重构的3种不同分辨率下的图像分别如图2(a)、图2(b)、图2(c)所示。其中,图2(a)是直接根据JPEG格式编码的 LL_2 重构的图像,它只是在较小尺度(四分之一)上对原图像的近似,其分辨率低,难以看清楚细节,只能表示原图像的大致轮廓;图2(b)是利用对 LH_2 、 HL_2 、 HH_2 3个高频细节子带图像已量化编码的数据解码,再根据图2(a)中已重构的 LL_2 进行迭代重构,在一定误差范围内恢复 LL_1 的水平,从图上可以看出,其分辨率提高,图中所表现的细节内容也增加,用户观察到的是一个比图2(a)更清晰的图像;图2(c)是在图2(b)的基础上,对 LH_1 、 HL_1 、 HH_1 3个高频细节子带图像已量化编码的数据进行解码,利用已重构的图像再次作迭代运算,重构出和原始图像尺度相同的图像,图像所展示的细节更完整,用户看到的图像也更清晰。这样,利用多分辨率编码,用户就可以观察到一个动态的、不断清晰、细节逐渐完整的图像。

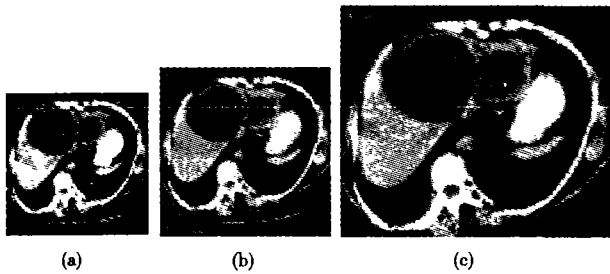


图2 多分辨率编码后图像(肝脏CT 364 × 364)的回放过程

4 结 论

PACS 主要用于医学图像的传输和管理,对图像的传输和回放速度有很高的要求。多分辨率编码作为一种符合人眼视觉特性的编码算法具有较高的压缩效率。笔者提出的基于小波混合编码的多分辨率编码算法在PACS 系统中有较高的实用价值。当然,如何把编码效率和回放速度同时实现最优化,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 梨洪祥. 数据图像压缩经典[M]. 北京:学苑出版社,1998
- [2] 游素亚. 基于二维小波变换的多分辨率立体匹配算法[J]. 通信学报,1995, 16(1):26-31.
- [3] 胡春玲, 马常楼. 图像编码的多分辨率矢量量化算法[J]. 电子学报,1999, 27(1):27-30.
- [4] ELNAHAS S E, TZOU H. Progressive Coding and Transmission of Digital Diagnostic Picture[J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1986, 5(6):73-83.
- [5] CHITPRASERT B, RAO K R. Human Visual Weighted Progressive Image Transmission [J]. IEEE Trans Commun, 1990, 38(7):125-132.
- [6] 沈兰荪. 图像编码与异步传输[M]. 北京:人民邮电出版社,1998.
- [7] 张贤达, 保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [8] 李晴辉. PACS 系统中图像压缩算法的研究[D]. 重庆:重庆大学生物工程学院,2002.

Multi-resolution Encoding of Medical Image in PACS

LI Qing-hui

(Information Department of Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: It is necessary to transmit and review medical images effectively in PACS (Picture Archive & Communication System, PACS), and multi-resolution encoding can improve image compression efficiency. The progressive property of 2D image wavelet transform is studied, and a multi-resolution medical image encoding method is described. This encoding method means that, the lower frequency subimage in wavelet domain should be encoded prior to those higher frequency subimage. Also, in the medical image process of transmission and reviewing, the same order will be followed. The experiment has improved that the proposed method can speedup the medical image transmission and reviewing in PACS effectively.

Key words: medical image; multi-resolution; wavelet transform; PACS

(编辑 李胜春)