

The design train of thoughts and realization of mini-PACS for NMI department in hospitals

HUANG Jun-feng, CAO Wen-tian, LV Hong-yu, XIE Yao-qin, BAO Shang-lian

(Beijing Key Lab of Medical Physics & Engineering, Center for Tumor Diagnosis and Therapeutical Physics,
Peking University, Beijing 100871, China)

[Abstract] PACS is an integration system used in hospitals for the purpose of image acquisition, storage, administration, communication and effectively application. After the general introduction of PACS in the world, this paper mainly introduces the design consideration of a mini-PACS used in the department of nuclear medicine imaging, because this department need PACS in urgent. The imaging technologies of molecular and anti-nucleus acids will be the most quickly progressing technologies among all images, not only for the clinical diagnosis and treatment, also for new pharmacy development as well as for basic research. PET/SPECT are the most suitable imaging modalities at molecular level, which is a bridge of human information between microcosmic and macroscopical levels. Mini-PACS can help to enhance the advantage, overcome the disadvantage and benefit everybody involved in. If mini-PACS can be widely accepted by every department, PACS can be speeded up in China.

[Key words] Nuclear medical imaging; Mini-PACS; Multiple modality image integration

核医学科 Mini-PACS 的设计思路与实现

黄骏峰,曹文田,吕红宇,谢耀钦,包尚联

(北京大学医学物理和工程北京市重点实验室,北京大学肿瘤物理诊疗技术研究中心,北京 100871)

[摘要] PACS 是医院用于采集、管理、传输和综合使用医学图像信息的系统。本文在介绍 PACS 在当今世界发展现状的基础上,重点介绍用于医院核医学科的 mini-PACS,因为在科室一级核医学科更需要 PACS。跨入 21 世纪之后的医学影像领域中,发展最快的是诸如分子影像和反义核酸成像的领域,因为这是弄清基因和生物大分子功能的关键。该领域的发展不仅是临床诊疗,也是新药开发和满足人体科学基础研究的需要。PET/SPECT 是目前开展分子水平成像最合适的成像模态。在核医学科建立 mini-PACS 有助于发扬核医学的优点,克服核医学的缺点,使得病人、医院都能从 mini-PACS 的建立中受益。把发展中国的 PACS 技术放在科室内部,需要建立医生、医学物理工作者和工程技术人员的合作机制,需要解决当前核医学科诊疗中迫切希望解决的问题,而让 IT 行业的人完成科室之间的、基于 web 的信息整合,就有可能找到一个发展中国 PACS 的新路。基于这个思想,本文介绍了建立核医学 mini-PACS 的技术路线和关键技术。希望从这个例子得到启发,使得我国 PACS 技术得到更快的发展。

[关键词] 核医学; Mini-PACS; 多模态医学影像信息整合

[中图分类号] R318.5 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2004)01-0125-04

1 引言

PACS(picture archiving and communication systems)是现代医学信息学的产物,是计算机科学、医学影像物理和医学相结合用于医学影像的采集、仓储管理和通讯网络的系统工程^[1]。这里的采集不是指成像过程中的数据采集,而是指在

单机上完成图像重建之后,由医院的信息系统从成像设备上得到影像信息的采集。影像数据是海量数据,落实到每个人在特定时间、特定成像设备和对特定脏器的采集的信息源的管理和仓储是一个非常复杂的工作,尤其是从浩瀚的数据中快速、安全地找到医生和病人所需要的资料是一个具有挑战性的工作。而把整个医院,以及整个城市和整个国家的病人信息通过网络系统连接起来,形成时空内有序的影像数据流,满足医生和病人对完整信息的实时需要也是一个非常具有挑战性的问题。所以,从世界范围的发展来看,PACS 的发展依赖于 IT 行业的整体水平,依赖于医生使用网络和计算机软件的整体水平,依赖于医学影像物理工作者设计和建立 PACS 的整体水平。所以,发展 PACS 技术必须建立一个整体发展

[基金项目] 本文得到国家自然科学基金(10275003、10175004)和北京市自然科学基金重点项目(3011002)的资助。

[作者简介] 黄骏峰(1978—),男,山东省青岛市人,北京大学医学物理方向研究生。研究方向:核医学 mini-PACS 的设计研究。

E-mail: bao@pku.edu.cn

[收稿日期] 2003-12-08

的战略。也就是说如果不根据中国的实际情况,盲目跟着外国医院的情况走,或者任由外国大公司来摆布其结果是不会好的。为了更好地把 PACS 在中国发展起来,需要找到一条适合中国国情的 PACS 发展的技术路线。

从 PACS 发展的历史看,PACS 发展之初是根据医生对病人信息的需求建立起来的,这种需求在不同医院和同一医院的不同科室是不一样的,满足这种需要才能发展这是颠扑不破的真理。不过我国已经建立的数量很大的与 PACS 技术有关的公司并不知道这个道理,很多跨国大公司的工作人员已经忘掉了这个基本问题,有些做了尝试的医院最后仍然不能成功就是这个道理。实际的情况是 PACS 的发展不存在克服不了的技术问题,而是没有找到适合中国医院实际情况的技术发展思路^[2]。可以设想,如果医院和病人如果都能从建立 PACS 的过程中得到好处,PACS 就一定能够得到持续发展。目前的需求主要不在整个医院,而是解决科室内部的问题更为迫切,因为这是对病人实施诊疗的第一线。但是,要解决科室内部的问题,必须有懂得 PACS 技术、懂医学需求的人才,至少懂科室内部诊疗的流程,并且要有能够不断改进和优化这种流程的机制。我国当前最主要的问题是缺少这方面的综合人才。

PACS 的发展主要依赖于两个科学领域的进展:计算机网络技术和医学影像科学。现在的计算机网络技术已经完全有能力实现 PACS 的需要,尤其是以局域网的形式满足医院内部的 PACS 需要。自从在全世界推广医学影像的格式标准化之后,新生产的影像设备也都有标准格式输出并把成像设备作为网络节点运行的能力。从数字化影像设备来看,X 线机产生的平面 X-射线影像的数字化并没有普及,普及所化的代价太高,在中国普及还有困难,所以把胶片实现数字化仍然有需求,尤其从“SARS”爆发的情况看,X 线机数字化非常重要,涉及到最基层老百姓医疗服务问题,以及实时的信息汇总问题。从全球 PACS 发展遇到的问题看,他们的问题不是在科室内部,而是把 PACS 在更大范围内,以至全球集成的问题。中国目前大范围内的网络通讯能力并不比发达国家差多少,主要问题是基层没有广泛使用 PACS 的能力。由于我国医务人员理工方面的平均知识水平比较低,医疗机构内又没有医学物理师和医务人员紧密合作共同对病人负责的制度,在科室内部建立 PACS,然后把每个科室在 WEB 的基础上进行整合,实现全院信息化、整个城市的医疗信息联网这样的过程仍然需要持续相当长的时间。需要解决的科学和工程技术问题,除了上面说的共性问题外,以核医学科为例,不仅要解决科室内部设备联网问题,以及科室和其它科室之间的联网问题,也就是说不仅要考虑 PACS 本身的功能,还要考虑不同模态医学信息的整合、为医生建立对核医学信息进行分析和处理的功能,以及打印患者报告的功能。所以,这里所说的 mini-PACS 不仅仅包含西方国家关于 PACS 的定义,这就是本文所要阐明的关键思想。即针对我国医疗的整体水平和医院的运行机制,建立一种让医院、病人和社会共同受益的模式,根据利益驱动原则,促使整个行业持续发展。

结合我国国情,根据各医院/影像(放射科)的规模、任务、

设备和专业人员等硬软件条件,采取慎重、逐步实施、发展和长期服务的策略^[3]是非常重要的。发展 PACS 系统,首先要从医院的内在需求出发,从目前医院能够承受的经济能力出发,采取逐步推进的方法,建立 PACS 发展的中国模式。从理论上来说,以现代计算机科学为依托,用数字化方法获取、仓储、显示和传输为核心技术的 PACS 可以方便地让医生获得健康检查、疾病诊断和治疗的有用信息,PACS 技术的发展应该具有足够的驱动力;然而,实际上如果没有一个明确的服务兑现的回报,医院不可能直接从该项服务中获得收益,PACS 就不可能持续发展下去。

2 核医学 mini-PACS 的发展需求

核医学成像也称为放射性核素成像,是一种以脏器内、外或脏器内各组织之间或脏器与病灶之间的放射性浓度差别为基础的脏器、组织和病灶的成像方法。典型的现代核医学成像设备包括 PET(positron emission computed tomography)、SPECT(single photon emission computed tomography)和伽玛相机等。

核医学成像是目前惟一可以在动物和人体身上实施的分子和基因反义核酸水平的成像工具^[4]。是当前核医学发展的前沿。这个领域不仅在医学临床,而且在新药开发和目前生命科学的前沿基础研究方面发挥重要作用。是 21 世纪前 20 年具有高速发展的领域,国内对这个领域的发展还没有做好充分的准备。我们提出重点发展核医学科需要的 mini-PACS 就是基于对学科发展方向的估计。

在核医学科内建立一套专用的 PACS 系统能够有效地促进核医学成像在诊断和治疗上的广泛应用,充分发挥核医学在分子成像和人体功能疾病诊断中的作用,同时通过和 X-CT 及 MRI 图像的配准和融合,弥补核医学图像在空间分辨率、组织、脏器边界模糊的缺点,从而克服核医学自身的局限性,在更大范围内发扬核医学成像的优势,这种源自内在需要的力量会维持核医学 mini-PACS 的发展。

相对于其它成像设备,核医学成像具有自己独特的优势:首先它是一种具有较高特异性的功能成像和分子探针水平上的成像方法。在人体基因序列已经清楚的今天,为了搞清楚基因表达的规律,搞清人体内各种生物分子,尤其是作为信息调控和信息传递的生物大分子的作用是非常重要的。这就是为什么以美国为首的西方国家的科学家重新把分子成像列入重要议事日程,并大力推进核医学成像技术、人体内靶分子化学和动物 PET 研究的原因。核医学成像除了能显示解剖结构外,它还能提供有关脏器和病变的功能和分子水平的信息,以及这些信息随时间的变化,容易实现包括时间信息在内的四维空间的成像,是目前在人的活体水平上无创伤地观测生物大分子功能的主要成像手段。另外,从疾病的早期诊断看,核医学成像的优势也十分突出和重要。因为人体的病变开始于大分子运动的紊乱,长期的紊乱引起脏器功能的变化,而这种变化通常是在脏器发生器质性变化之前就出现了,例如代谢紊乱、血流变化、局部血容积分布的变化等,都涉及到与人的生命过程有关的很多核心问题。从很多方面看,核医学比别的成像手段具有更大的优势。这是为什么核医学成像将成

为今后 10~20 年内重点发展的成像技术。

但是核医学成像也有不容忽视的缺点。主要表现在核医学成像用于成像的信息源是经过放射性核素标记的药物,允许给病人注射的放射性剂量是受限制的,在全身分布之后,在特定靶区信息量不够,数据的统计误差较大,这就使得核医学图像提供的人体组织和脏器的边缘信息不够准确。为了定位而采用的准直器技术,进一步降低了图像的灵敏度,限制了设备的空间和时间分辨率进一步得到改善,这些限制给人体内生物大分子功能的分析和病灶的定位带来较大的误差。

随着多模态成像技术的发展,以及图像处理技术的进步,把高分辨率的医学图像通过配准和融合实现空间定位的技术已经成熟。通过配准和融合形成的新的信息源可为诊断和治疗提供更为全面的信息,从而保证诊疗的准确性。从这个意义上来说,核医学科对 PACS 的需求甚至比放射科还迫切,但是国内对核医学成像没有那么重视,主要是国内缺乏医理工结合的队伍并充分利用这些信息的机制。综合多模态成像的技术,并和网上通讯和安全技术相结合,可以克服核医学成像的技术缺点,发挥它的优点,国内研究和用于核医学科的 mini-PACS 的条件已经成熟。

3 核医学 mini-PACS 的实现

考虑到核医学科今后发展的特殊需要和目前相对成熟的 PACS 技术,以及系统的可扩展性,将核医学 mini-PACS 系统化分为核医学成像临床分析专用子系统、病人图像管理工作子系统、不同模态医学影像信息的配准和融合和预处理图像子系统、具有 DICOM 网关的网络服务器子系统。

3.1 核医学成像临床分析专用子系统 这个子系统按照国内核医学科主流产品正电子发射断层成像(PET)和单光子断层成像(SPECT)产品的临床工作流程进行设计。已经完成临床数据处理和分析以及输出报告的软件主要是针对 SPECT 成像设备图像的定量分析和处理进行的。软件模块中已经包括了对采集的数据进行重建、显示和处理并按照核医学临床对脏器的检查项目对核医学图像进行定量分析,提供了各种定量分析的工具,最后打印输出医生的诊断报告,完成核医学临床诊断的整个流程。以图像重建为例,包括了 SPECT 断层图像重建的各种方法,其中包括对滤波器的选择,实现快速的滤波背投影重建^[5];同时提供精度高但是相对费时的 Bayesian 统计优化迭代重建算法^[6]。也就是说,本文实现的 mini-PACS 系统中包括了独立于原生产厂家的完整的临床数据处理功能,可以实现对甲状腺、心脏、肾、肺等脏器和全身骨的常规临床定量分析。系统还改进了核医学成像具有优势的心脏功能和心肌存活的心肌靶心图分析方法,提高了对心肌是否存活所做的定量分析的准确性和可靠性。PET 的临床分析处理部分的研发尚在进行之中,可以无缝的接入这个 mini-PACS 系统。和读胶片相比,该子系统提供了更多的信息,这些信息很容易更新,使得诊断结论更为准确和科学。

3.2 病人图像管理子系统 从这次流行 SARS 的经验和教训看,医院对病人的管理是一项重要的工作。本文实现的 mini-PACS 对病人的管理就是在核医学科内部建立类似目前

在放射科运行的 RIS(radiology information system)系统。其功能主要是:录入初诊病人,接待住院病人、按照事先设计的流程对一个群体病人组织体检、以及接待从别的科室转过来的病人,有 HIS 和 RIS 以及 PACS 系统的医院,需要把核医学科接待的病人和医院的整个病人信息数据库连接,及时跟踪病人的去向,收集关于病人诊疗更为完整的信息,实现对病人的有效管理。核医学科应该指定专人根据自己的病人来源,每天对接待的病人按照轻重缓急和先来后到的原则,而接待的医护人员根据病人自述、化验结果或者其它可能的疾病资料,合理分配这些病人到指定的大夫那里接诊。当病人到达主持医生之前,病人的所有信息都应该传送到责任医生的专用图像工作站上,接诊大夫根据以往的资料和接诊时获得的新的信息,决定对病人的数据采集方案,指定病人进行数据采集的设备。采集数据的医护人员要根据医生的要求采集数据,并把采集之后的图像及其病人的文本数据同时送到图像预处理工作站和核医学科内部的图像存贮工作站。经过图像预处理之后的原始和处理后的图像都要存储在核医学科内部的存储系统上,在病人第二次来访时,接诊大夫或者病人管理的医护人员要及时把这些新的信息源送到指定的接诊的专业工作站上。如果要建立一个相对独立的病人管理图像工作站,这个工作站的任务可以归纳为:根据病人的病情的轻重缓急以及先来后到的次序,按照病人自述或者转诊单上的描述,分配主治大夫;对同一病人不同时间完成的不同模态图像进行预处理,在配准和融合处理之后把原始图像和病人信息一起传给主治大夫;对病人的图像、身份和文字描述进行核对并设置相应的安全措施;把主治医生认为需要会诊的病例集中,在科室主任规定的时间内汇总到全科会诊的图像工作站。所以,关于病人管理的模块应该具有和整个医院以及合作的兄弟单位之间的网络通讯能力,和科室内部每个医生桌面系统之间的通讯能力,具有对图像和文本文件的通讯能力。满足对各种模态医学影像信息的输入的能力。

3.3 不同模态医学影像信息的配准和融合和预处理子系统

由于不同模态医学图像显示的信息之间的空间分辨率和作用机制不同,在几何结构上存在很大差异,相互之间的转换缺乏物理和生物学基础,使得像素灰度值之间的比较非常困难。最近几年来,世界上关于医学图像分割、配准和融合的研究已经非常广泛和深入,系统实现了两种配准方法。一种是基于轮廓特征的 SVD-ICP(iterative closest point)配准方法,该方法首先提取图像轮廓,然后采用奇异点分解(SVD)方法将空间点列进行匹配,通过迭代得到轮廓点的最优配准参数。另一种是基于最大互信息的配准方法,该方法使用小波金字塔分解将两副图像在低分辨率上进行互信息计算,通过迭代得到最佳配准参数。系统同时实现了一种基于小波金字塔分解的融合方法。由于图像特征是包含在不同尺度上的,不同分辨率的图像所突出的特征不同,而小波分解恰恰能够将图像特征反映在不同的分辨率水平的信息源上,并且各个方向上的能量和噪声互不干扰,非常适合于人类视觉的金字塔式的数据结构。如果把包括配准和融合的图像功能组织成一个独立的图像工作站,这个图像工作站的主要任务是完成诊断前

的图像预处理,由物理师承担,把病人的各种信息整合集成,满足准确诊断的需要。其中多模态医学图像配准和融合模块是图像预处理的核心内容,其它重要的功能包括把不同模态的医学图像建立统一的图像格式,统一的坐标系和灰度标尺,以及对病灶的大小和位置的定量描述能力。

3.4 具有 DICOM 网关的网络服务器子系统 为了保证网络安全,对有能力的医院,把具有通讯和 DICOM 网关功能的医学图像工作站独立出来,作为核医学科的一个网关和网络服务器。这个工作站包括和医院其它部分连接的网关作用,建立具有保密功能的网络通讯传输协议,同时具有把外面传入的医学图像数据临时存贮的功能。为了实现快速传输,对医院每天产生的海量数据量进行压缩和使用前减压缩处理是必要的。目前的压缩算法分为有损压缩和无损压缩^[7]。对于重要的数据,医生可能希望保留图像的每一个细节,只能使用无损压缩,而其他数据可以根据对质量的要求作不同程度的有损压缩。本文的系统采用常用的 Huffman 编码的 DPCM 算法作为无损压缩算法,有损压缩算法采用了高压压缩比率的 JPEG 2000。JPEG 2000 采用小波变换为主的多解析编码方式,以波状方式压缩文件,去除文件中的次要信息,大大降低传统压缩算法中存在较大噪声的问题。由于 DICOM 标准的普及和远程医疗的实施,医学图像互相访问容易了,同时受黑客攻击的危险性和数据被篡改的可能性也增加了。对于一个 PACS 系统应该保证信息的私有性、真实性和完整性。设计中采用了常用的安全措施,例如患者数据加密与数据签名的技术措施:PGP 公钥加密以及 RSA 非对称加密算法等技术。同时防止数据传输过程中的丢失,还需要采取对 DICOM 格式文件的安全措施。

传统的 DICOM 服务器和网关之间的通信是直接建立在 TCP/IP 之上的,可用的安全措施是在 DICOM 应用和 TCP/IP 界面之间再添加一个安全插件层协议(SSL),可以对整个数据流进行加密。SSL 是在 Internet 基础上提供的一种保证私密性的安全协议。它能使客户/服务器应用之间的通信不被攻击者窃听,并且始终对服务器进行认证,还可选择对客户进行认证。SSL 协议的优势在于它是与应用层协议独立无关的,高层的应用层 DICOM 协议可以透明地建立在 SSL 协议之上。其中 OPENSSL 是一个开源的工具包,它实现了 SSL (v2/v3)协议,并实现了几乎所有流行的加密算法。它包含了一套程序以及函数库,提供了前端使用者 SSL 功能,允许软件开发者将 SSL 功能与他们的程序相结合。

根据上述设计思想,mini-PACS 流程的整体框图如图 1 所示,这是一种一般的设计思想,具体到不同科室和不同医院,这种流程,尤其是接口是要经过特殊的设计才能达到优化的程度。

4 结论和讨论

根据客户的需要,可以把上述四个子系统组合成相对独立的四类图像工作站,也可以合并成两类相对独立的图像工作站,其中临床数据分析的核医学专用图像工作站是 mini-PACS 系统的核心,制作这样的图像工作站需要专业知识,可

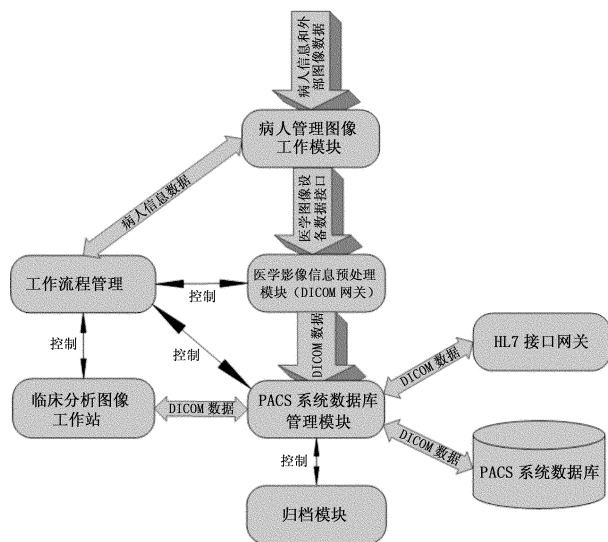


图 1 mini-PACS 流程的整体框图

以根据科室内医生的人数进行配置,其余的图像工作站在整个科室内只有一个,处理图像的工作站除了满足处理速度快、容量大的要求外,和计算机网络技术的要求是一致的。我们已经实现了 mini-PACS 系统的绝大部分功能,进一步的改善尚在进行之中。核医学图像的优点和缺点都非常明显,通过现代计算机技术,可以实现和其它医学影像信息之间的取长补短的作用,考虑到今后核医学成像受到后基因时代各种社会需求的推动,本文的设计具有前瞻性和实用性。

[参考文献]

- [1] Bao SL. Modern medical physics iconography[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2003.
包尚联. 现代医学影像物理学[M]. 北京大学医学出版社, 2003.
- [2] Chen WG, Zhang XL, Huang XH, et al. The present status and development policy of the internal PACS[J]. Radiol Practice, 2002, 17(4): 364-365.
陈卫国, 张雪林, 黄信华, 等. 国内 PACS 的现状和发展策略[J]. 放射学实践, 2002, 17(4): 364-365.
- [3] Liu YQ. Suggestions on PACS in our country[J]. Information of Medical Equipment, 2002, 17(8): 1.
刘玉清. 对我国 PACS 建设的几点意见[J]. 医疗设备信息, 2002, 17(8): 1.
- [4] Tang XW. Molecule iconography[C]. The 194th Xiangshan Conference, 2003.
唐孝威. 分子影像学[C]. 第 194 次香山会议, 2003.
- [5] Bracewell RN, Riddle AG. Inversion of Fan-beam scans in radio astronomy[J]. Astrophys, 1967, 150: 427-434.
- [6] Dempster AP, Laird NM. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm[J]. Royal Stat Soc Ser B, 1977, 39: 1-38.
- [7] Berman LE, Long LR, Pillemer SR. Effects of quantization table manipulation on JPEG compression of cervical radiographs[J]. SID 93 Digest, 1993, XXIV: 937-941.