١٠٢

أنظمة أرشفة وتبادل الصور

Picture Archiving and Communication Systems (PACS)

Ted Cohen
Manager, Clinical Engineering Department, Sacramento Medical Center, University of California, Sacramento, CA

يُعرف نظام أرشفة وتبادل الصور (PACS) بأنه نظام يقوم بالمعالجة والتخزين والتوزيع والاسترجاع الإلكتروني للصور الطبية الرقمية في جزء من مؤسسة الرعاية الصحية أو في جميع أرجائها. إن الاستخدام الأكثر شيوعاً للـ PACS هو في أقسام الأشعة من أجل معالجة وتحويل صور الأشعة وغيرها من أساليب التصوير التشخيصي بما في ذلك صور الرنين المغناطيسي (MRI) والـ CT وصور الطب النووي وصور الموجات فوق الصوتية. يُجسد نظام الـ PACS التكامل بين الطب والكمبيوتر وتكنولوجيات الاتصالات مع احتياجاته لحجم تخزين كبير وقواعد البيانات المتطورة وعرض حزمة كبير وشبكات عالية السرعة والقدرة الحاسوبية على سطح المكتب ومتطلبات سهولة الاستخدام لمجموعة متنوعة من المستخدمين النهائيين وبرمجيات التطبيقات الطبية المتخصصة. كما يمكن لنظام الـ PACS أن يُستخدم لتخزين معلومات الصور من إجراءات القسطرة القلبية والتنظير الداخلي والأمراض الجلدية والعلاج بالإشعاع وتخطيط صدى القلب والتشريح المرضي.

إن أحد أهداف نظام الـ PACS هو تحسين سير عمل قسم التصوير بالمقارنة مع التكنولوجيات التي تستند إلى الفيلم. يقوم نظام الـ PACS بأتمتة وتحسين سير العمل (بدرجاتٍ متفاوتة) بين طرائق التصوير واقتباس الصور ومعالجة الصور وتوزيع وتخزين الصور والأفراد المرتبطين بها داخل مؤسسة الرعاية الصحية. بسبب أن ٧٠٪ من سير عمل قسم الأشعة النموذجي هو عبارة عن صور فيلم واضحة، فمع تحول قسم الأشعة إلى الطرائق الرقمية فإن تنفيذ نظام الـ PACS يُصبح عملياً بشكلٍ أكثر. بالإضافة إلى ذلك يتطلب التنفيذ العملي لأنظمة الـ PACS تكاملاً عالياً مع نظام معلومات الأشعة (RIS) و/أو نظام معلومات المستشفى (HIS) من أجل الجدولة وإدارة عبء العمل وتقارير الأشعة. يمكن لنظام الـ PACS أيضاً أن يساعد في التخفيف من الأفلام وتجهيزها وتكاليف تخزين الأفلام كما يمكن أن يُقلل من عدد مرات إعادة أخذ الصور والأفلام المفقودة. كما سوف يُسهل نمو شبكات الإنترانت ذات عرض الحزمة العالي نمو الـ PACS.

تكنولوجيا أنظمة أرشفة وتبادل الصور
PACS Technology

إن أنظمة الـ PACS هي أنظمة تخزين ومعالجة وتوزيع واسترجاع صور تستند إلى شبكة الكمبيوتر حيث يمكن استخدامها لالتقاط وتخزين واسترجاع وعرض الصور الطبية والتعامل معها وطباعتها وما يرتبط بذلك من بيانات. يمكن الوصول إلى الصور المُخزنة رقمياً في أي وقت من أي محطة عمل تعمل بالـ PACS سواء من داخل شبكة قسم الأشعة أو عن بعد (على سبيل المثال، خارج الموقع). من الناحية المثالية، يُسهل الـ PACS البيئة التي لا تستخدم أفلام الأشعة السينية حيث تشهد معظم المؤسسات التي تستخدم أنظمة الـ PACS انخفاضاً كبيراً في استخدام الأفلام. ترتبط معظم أنظمة الـ PACS مع أنظمة المعلومات في المستشفى أو أنظمة معلومات الأشعة وإلى حد أقل مع أنظمة المعلومات الإكلينيكية. لا يزال سجل المريض المثالي الخالي من الورق والإلكتروني بشكلٍ كامل مع دمج تام للبيانات الديموغرافية والصور والبيانات الإكلينيكية وغيرها من سجلات طبية نادراً جداً.

عادة ما تتألف أنظمة الـ PACS من العناصر التالية: (١) واجهات ربط التجهيزات، (٢) شبكة ذات عرض حزمة عالي، (٣) طبقتين أو أكثر من محطات عمل لاستعراض الصور، (٤) طبقتين أو أكثر لأرشيفات الصور، (٥) مخدمات متخصصة، (٦) واجهات ربط مع أنظمة المعلومات والأجهزة الطرفية الأخرى (مثل طابعات الفيلم والطابعات الورقية). تتكون هذه المكونات من تجهيزات تجارية متاحة في الأسواق (COTS) وبرمجيات نظام التشغيل لـ COTS وبرمجيات تطبيقات PACS متخصصة مُحدَّدة للمُطور/البائع. فيما يلي مناقشة مُفصلة لكل من مكونات الـ PACS.

واجهات ربط التجهيزات Modality Interfaces

يمكن ربط جميع أجهزة التصوير الإشعاعية مع أنظمة الـ PACS. عادة ما يتم ربط التجهيزات الرقمية (مثل CT و MRI) مباشرة مع قدرات الـ DICOM (انظر إلى الشريط الجانبي للـ DICOM فيما يلي) المبنية في هذه التجهيزات كما هو الحال في التجهيزات الرقمية الأحدث (مثل التصوير الإشعاعي الرقمي (DR)). يمكن إضافة أجهزة ربط خاصة إلى الموديلات القديمة من تجهيزات التصوير لتوفير التوافق مع الـ DICOM.

تُشكل الأشعة السينية التقليدية ما يصل من ٦٠٪ إلى ٨٠٪ من جميع فحوص التصوير الإشعاعي التشخيصية. يمكن ربط أجهزة الأشعة السينية مع الـ PACS باستخدام التصوير الإشعاعي المحوسب (CR). يمكن مع الـ CR إجراء الاقتباس التقليدي للأشعة السينية باستخدام شاشة الفوسفور مع قدرة تخزين الطاقة كمستقبل لصور الأشعة السينية. يتم احتواء شاشة الفوسفور في كاسيت تصوير شعاعي ذو حجم قياسي ويمكن استخدامه في طاولات التصوير الإشعاعي الموجودة وفي وحدات الحائط. يتم بعد التعرض للأشعة تحويل الكاسيتات إلى نظام قراءة. يتم عندئذ مسح لوحة الصور بجهاز ليزر والذي يحفز التلألؤ بشكلٍ متناسب مع التعرض المحلي للأشعة.

تُحوَّل إشارة التلألؤ إلى إشارة كهربائية ومن ثم تُحوَّل إلى إشارة رقمية. كما تتم معالجة إضافية للبيانات الرقمية الخام التي تمثل الصورة من أجل تحسين المحتوى التشخيصي للبيانات المرئية. يمكن عندئذ تخزين الصورة المُعالَجة ونقلها إلى الـ PACS و/أو طباعتها من خلال فيلم يُطبَع بالليزر.

كما تتوفر غرف أشعة سينية مع أجهزة الـ CR المُتكاملة أو الكاشفات ذات اللوحة المسطحة الصلبة. يمكن من أجل الحجوم الصغيرة مسح أفلام الأشعة السينية بشكلٍ فردي باستخدام مُرقمن الأفلام من أجل تحويلها إلى شكلٍ رقمي.

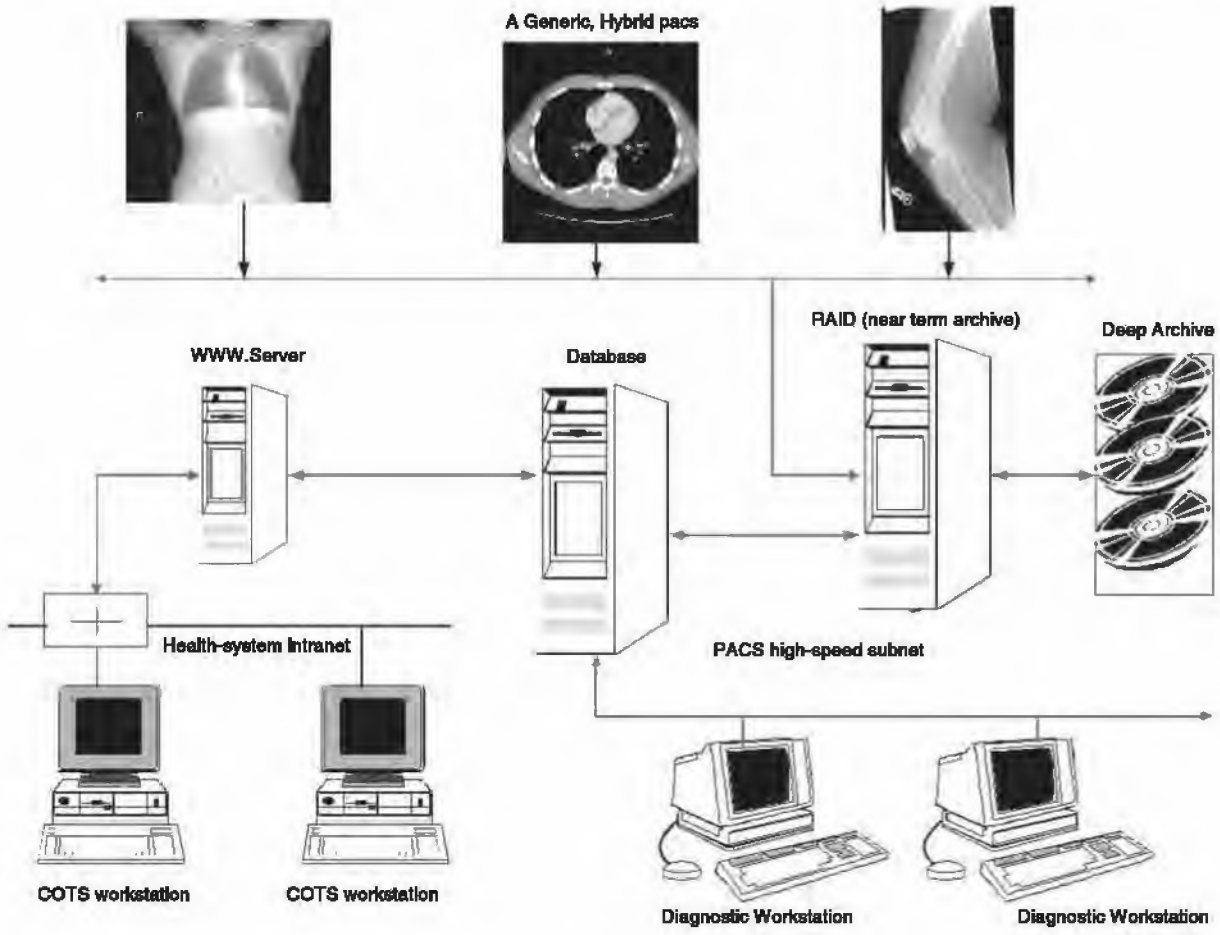
الشبكات Networks

عادة ما يتم تهيئة نظام الـ PACS على أنه شبكة محلية (LAN) خاصة به أو كشبكة فرعية مخصصة في بيئة شبكة واسعة (WAN). تترابط التجهيزات (أو واجهات ربط التجهيزات) والمخدمات ومحطات العمل والأجهزة الطرفية مع الشبكات عالية السرعة للكمبيوترات عبر كابلات متحدة المحور أو زوج ملتوي و/أو كابلات الألياف البصرية. تختلف الشبكات الفردية من حيث التصميم ولكن يجب على جميع الشبكات أن تأخذ بعين الاعتبار الكمية الكبيرة جداً من بيانات الصور ومتطلبات السرعة لنظام الـ PACS. يمكن استخدام مجموعة متنوعة من الطرائق داخل شبكات الـ PACS اعتماداً على الشبكة المتأصلة في المؤسسة وجغرافية المؤسسة. استَخدَمت شبكات الـ PACS بشكلٍ ناجح شبكات الإيثرنت (بما في ذلك ١٠٠ ميغا بايت إيثرنت وجيجابت إيثرنت) والـ ISDN ووصلات T1 و T3 من أجل المواقع النائية والـ ATM وريلية الإطار وغير ذلك من عمليات التوجيه والتبديل عالي السرعة لدارات البيانات. من المهم أن يكون عرض حزمة دارة البيانات كبير بما فيه الكفاية ليناسب متطلبات الكمية والسرعة للبيانات. داخلياً، يمكن الحصول على زيادة في سرعة نقل البيانات ضمن الـ PACS باستخدام قناة الألياف وتكنولوجيات التخزين والشبكات الجديدة الأخرى (مثل، شبكات مناطق التخزين SCSI (SAN) البصرية).

يحتوي نظام الـ PACS المركزي على أرشيف مركزي ترتبط به جميع التجهيزات ومحطات العمل. تسمح هذه البنية بالوصول المتساوي إلى كامل نظام الـ PACS. ومع ذلك يمكن أن تتباطأ إمكانية الوصول في النظام الكبير جداً نتيجة لوجود مكون بطيء واحد أو أكثر (على سبيل المثال، بحث مُعمق بالأرشيف). وعلى الرغم من احتمال أن تشمل هذه البُنية على إحضار مُسبق من الأرشيف العميق إلى الأرشيف قصير المدى إلا أنها لا تقتضي أن يذهب الإحضار المُسبق إلى محطة عمل محددة أو إلى مُخدم مُوزَّع.

تحتوى البُنى الموزَّعة لأنظمة الـ PACS على تجهيزات معينة مرتبطة من أجل تحديد هوية المُخدمات و/أو الأرشيفات الموزَّعة بشكلٍ مُحدَّد. تُبذل الكثير من المحاولات لتحسين المُخدم ومحطات العمل و/أو الأرشيفات المستخدمة في جهازٍ مُحدَّد أو مكانٍ مُحدَّد. يمكن أن يؤدي ذلك إلى أزمنة استجابة أسرع عندما يتم استخدام محطة

العمل التي تم تحديدها لكنه يقلل من المرونة (و/أو يخفف كثيراً من زمن الاستجابة) عند تتم قراءة دراسةٍ ما من مجموعة من محطات العمل التي هي غير محطة العمل الرئيسية التي تم تحديدها لهذا الموقع أو لهذا الجهاز. لقد تم تنفيذ كلاً من الطبولوجيا المركزية والطبولوجيا الموزَّعة بنجاح من أجل أنظمة الـ PACS. ومع ذلك ومن أجل التغلب على بعض أوجه القصور في الطبولوجيا المركزية والطبولوجيا الموزَّعة فقد تم استخدام أنظمة هجينة "بناء على الطلب". يبين الشكل رقم (١٠٢,١) عينة من الطوبولوجيا لنظام PACS هجين عام وكبير. تتحرك الصور تلقائياً عند الانتهاء من الدراسة من الجهاز إلى أرشيف قريب الأجل ومخدم ويب. يتم تخزين بارامترات تخزين الصور والمعلومات الديموغرافية (ولكن ليس الصور نفسها) في قاعدة بيانات المخدم. يمكن مشاهدة أي صورة من أي محطة عمل. كما يمكن توجيه الصور آلياً أو يدوياً إلى محطات عمل تشخيصية أولية مُحدَّدة وفقاً لبارامترات سير العمل المخزنة في قاعدة بيانات المُخدم و/أو وفقاً للطلبات الفردية (على سبيل المثال، طلبات لإرسال صورة إلى مكان معين أو طلبات لسحب صورة من موقع معين).



الشكل رقم (١٠٢,١). عينة عن طوبولوجيا نظام PACS كبير وعام وهجين.

تعمل قاعدة بيانات المُخدِّم على نظام الطلب كشرطي المرور. تتضمن بُنية قاعدة البيانات على معلومات عن صورة معينة (مثل تاريخ وزمن الاقتباس والمعلومات الديموغرافية للمريض والجهاز) ولكنها لا تحتوي الصورة نفسها. عندما يقوم المستخدمون باختيار صورةٍ ما استناداً إلى معايير معينة فإن قاعدة البيانات تقوم بتحديد موقع الصور التي تحقق تلك المعايير كما تقوم بتحديد وتعليم الأرشيف (قصير أو طويل الأجل) وتطلب من الأرشيف سحب الصور وتوجيهها إلى محطة العمل. عادة ما يتم استخدام مُخدم إضافي لربط قاعدة البيانات والأرشيفات إلى محطات العمل المستندة إلى الويب. بالإضافة إلى ما تتطلبه أنظمة الطلب من قواعد بيانات متطورة للمُخدم، فإن هذه الأنظمة تعمل على أفضل وجه عندما تكون هناك درجة عالية من التوافق بين نظام الـ RIS ونظام الـ PACS.

محطات العمل Workstations

تُستخدم محطات العمل التشخيصية الأولية من قِبَل أطباء الأشعة لعرض الصور من أجل تشخيص المرضى. تتطلب محطات العمل هذه أعلى درجة من الوضوحية والسرعة. كما يجب جعل سير العمل يتم على النحو الأمثل باعتبار أن أطباء الأشعة قد يقرءون عدد كبير من الدراسات في يومٍ واحد. وقد يتطلب الأمر مقارنات مع الدراسات السابقة. تحل محطات العمل التشخيصية هذه محل صناديق فحص صور الأشعة المُزوَّدة بمحركات والمستخدمة عادة في بيئة الأفلام. يجب على محطات العمل التشخيصية الأولية أن تعرض الصورة بوضوحية كافية (بالمقارنة مع الأفلام بالنسبة إلى الأجهزة التي تعتمد على الفيلم) لكي يتمكن طبيب الأشعة من إجراء التشخيص الدقيق. يتم اختيار الصور بناءً على لائحة الكلمات التي تأتي من الجهاز أو نظام الـ RIS. يمكن لمستخدمين محطات العمل استعراض ومعالجة الصور (مثل تكبير أو تدوير أو تكبير منطقة الاهتمام) وإضافة وتعديل وحذف ملاحظات لكي تُستخدم كمرجع في وقتٍ لاحق من قبل الأطباء أنفسهم أو غيرهم. كما يجب أن تتوفر أنظمة CRTs ذات وضوحية عالية تصل إلى ٢٠٤٨×٢٥٦٠ بكسل (٢ كيلو×٢,٥ كيلو). عادة ما تُستخدم الإظهارات المتعددة (٢ أو ٤) لعرض صور متعددة و/أو القيام بمقارنات متسلسلة مقابل دراساتٍ سابقة أو القيام بمقارنات أجهزة متعددة للنفس منطقة الاهتمام الحالية. باستثناء بعض التطبيقات المتخصصة (مثل الطب النووي أو الموجات فوق الصوتية) فإن الإظهارات عادة ما تكون أجهزة مراقبة أحادية اللون ذات تدريج رمادي.

كما يجب تسلسل وعرض الصور بطريقة متسقة استناداً إلى احتياجات ورغبات طبيب الأشعة والجهاز ونوع الدراسة. يتم بناء مجموعات التهيئة بحيث تتوفر الأشكال المناسبة للعرض والتسلسل وفقاً لكلمة دخول مُحدَّدة لطبيب الأشعة ووفقاً للجهاز ونوع الدراسة (التشريح على سبيل المثال). تُسمى مجموعات التهيئة هذه في بعض الأحيان "البروتوكولات المُعلَّقة" استناداً إلى مقارنتها التاريخية مع تعليق عدة أفلام على صناديق فحص صور الأشعة السينية المزودة بمحركات بترتيب ومكان معين.

تُقدم جميع محطات العمل التشخيصية الأولية بعض الأدوات لمعالجة الصور بما في ذلك التكبير والتنظيف والتضخيم والقلب والتدوير والقياس (الفرجار على سبيل المثال). كما تسمح محطات العمل هذه بتسلسل الصور (والذي يُسمى أحياناً "نمط التكديس") من أجل التفحص الديناميكي لشرائح المسح. تتوفر بالإضافة إلى ذلك محطات العمل المتخصصة التي تُقدم المزيد من المعالجة والمماثِلة لمحطات العمل المتوفرة مع التجهيزات. تشمل الأمثلة على ذلك تنظير الكولون الافتراضي الذي يعتمد على الـ CT والتقديم ثلاثي الأبعاد لتخطيط العمليات الجراحية باستخدام الـ CT أو الـ MRI.

تُعتبر أجهزة المراقبة عالية الوضوحية باهظة الثمن كما أنها تتطلب معايرة دورية لكي يكون لكل جهاز مراقبة سطوع وتباين متسقين بحيث تَظهر أي دراسة معينة بنفس المظهر بغض النظر عن جهاز المراقبة المحددة الذي يتم استخدامه لعرض الفحص. كما يتخامد سطوع أجهزة المراقبة عالية الوضوحية هذه مع مرور الوقت وتُستخدم أنظمة معايرة يدوية وآلية مختلفة للمحافظة على معايرة أجهزة المراقبة هذه ولتحديد متى يجب تغيير الـ CRTs لهذه الأجهزة.

تتمثل المهمة الرئيسية لطبيب الأشعة باستعراض الصور وتقديم تقرير عن النتائج الهامة إلى الطبيب الذي تمت مراجعته. من أجل تحسين كفاءة طبيب الأشعة فقد تم تطوير العديد من المخططات لدمج توليد التقارير في محطات العمل (مثل التعرف على الكلام والتقارير المطبوعة).

تُستخدم محطات عمل العرض الثانوية (التي تسمى أحيانا محطات عمل "المراجعة الإكلينيكية) من قبل الكادر الطبي (على سبيل المثال، الأطباء الذين تتم مراجعتهم) من خارج قسم الأشعة لاستعراض الصور في المجالات التي تكون فيها معلومات الصور مهمة وفي وقتها المناسب مثل وحدات العناية المركزة (ICUs) وغرف الطوارئ (ER) وجراحة العظام. قد يحتاج الطبيب الذي تتم مراجعته إلى استعراض الصورة وقد يضطر أحياناً إلى إطلاع المريض على الصورة. يمكن تحقيق ذلك باستخدام نظام إظهار أقل تطوراً وأقل دقةً. تتسم محطات عمل العرض المتخصصة الثانوية بأنها خاصة ببائعي هذه المحطات وارتفاع تكلفتها.

إن لمحطات عمل المراجعة الثالثية وضوحية ومتطلبات كمبيوتر أقل. تعمل معظم محطات عمل المراجعة الثالثية على الويب وهي أنظمة تجارية جاهزة (COTS) مع برمجيات PACS خاصة وربما أجهزة مراقبة أحادية اللون خاصة وواجهة ربط/سواقة للفيديو. إن الاتجاه السائد في محطات عمل العرض الثانوية والثالثية هو استخدام الـ COTS والـ WWW القياسية من أجل تجنب التكاليف المرتفعة لمحطات الـ PACS (انظر إلى مقطع "التكلفة" فيما يلي). مع تطور محطات العمل الثالثية ومحطات العمل التي تستخدم الـ COTS ومحطات العمل التي تعمل على الويب، فإن محطات العمل الثانوية المخصصة سوف تُنسَّق بسبب تكلفتها العالية.

الأرشيفات Archives

يمكن لأقسام الأشعة الكبيرة أن تولد أكثر من ٧٠ غيغابايت من البيانات في اليوم الواحد. من التحديات الرئيسية لنظام الـ PACS هو القدرة على جمع وتخزين واسترجاع وتوزيع هذا الكم الكبير من البيانات. يُعتبر الاسترجاع السريع دائماً من المواصفات الهامة لطبيب الأشعة لأغراض التشخيص الأولي. لقد أظهرت دراساتٌ عديدة أنه يتم الاطلاع على الصور بمتوسط x مرة خلال الأسبوع الأول وينخفض هذا المتوسط إلى y مرة في السنوات z القادمة (x>y>z). ولذلك فقد تم استخدام النهج المتدرج لأرشفة الصور أي الأرشفة قريبة الأجل وأرشفة طويلة الأجل.

عادة ما يتم تخزين جميع الصور الحديثة و/أو الصور التي من المرجح أن يتم استرجاعها في المستقبل القريب على أرشيف قريب المدى ويتم ذلك عادة باستخدام تكنولوجيا الأقراص المستقلة ذات المصفوفة المكررة (RAID). يمكن لنظام الـ RAID أن يُخزن الصور الحديثة أو الصور المُدرجة في قائمة الانتظار لفترة بضعة أسابيع وحتى سنة أو سنتين (على سبيل المثال، الصور التي سُحبت من الأرشيف طويل الأجل) وذلك من أجل احتمال استرجاعها استناداً إلى الموعد التالي أو استناداً إلى حدث مُجدول آخر. يتم دائماً تخزين الدراسات غير المقروء في الأرشيف قريب المدى.

إن أنظمة مكتبة الأرشيف طويل المدى هي أجهزة آلية روبوتية تقوم بوضع مؤشر وتحميل أنواع مختلفة من الوسائط (مثل الأقراص الشريطية أو الضوئية) إلى القراء من أجل استرجاع الدراسات القديمة. يمكن لهذه الأجهزة أن تستوعب عدة أنواع مختلفة من الوسائط كما يمكن توسيعها إلى مئات التيرابايتات (واحد تيرابايت = ١٠٠٠ غيغابايت). سوف تؤدي تغيرات تصاميم الوسائط (وكذلك انخفاض التكلفة لكل تيرابايت) إلى تطور خزانات وأنظمة أرشفة طويلة المدى جديدة. يبين الجدول رقم (١٠٢,١) مقارنة بين وسائط الأرشفة طويلة المدى. من الأمور المقلقة في هذه التكنولوجيا المتغيرة بسرعة هو أن القدرة على قراءة الوسائط الحالية بعد عدة سنوات قد تتطلب المحافظة على التكنولوجيا القديمة بحالة العمل، وهو ما يبدو كمن يُحاول قراءة قرص مرن ذو قياس ٨ بوصات في يومنا هذا.

نموذج مزود خدمة التطبيق
Application Service Provider (APS) Model

من أحدث الحلول المقدمة لغرض الأرشفة هو التخزين خارج الموقع عبر موفر خدمة التطبيق (ASP). تسمح هذه الأرشفة البعيدة للمستشفى بالتدبير الخارجي للتجهيزات والبرمجيات والدعم من أجل أرشفة صورها إلى طرفٍ ثالث. يتم استرجاع الصور عبر تطبيق مستكشف شبكة الإنترنت بينما يرعى مزود الـ ASP جميع عمليات التحديث

ومتطلبات التشغيل والنسخ الاحتياطي والاسترجاع بعد الكوارث. تعتمد سرعة الاسترجاع على نفس البارامترات مثل الأرشيف الداخلي بالإضافة إلى سرعة اتصال الشبكة الواسعة إلى الـ ASP. أظهرت بعض التقارير تحسن في السرعة باستخدام الـ ASP لأن الـ ASP كان قادراً على استخدام خزانات أكبر ومن ثم كان قادراً على الحفاظ على جميع بيانات الصور على الشبكة مقارنةً مع تدخل المُشغِّل في تحميل الأرشيف من القرص الضوئي المغناطيسي (MOD). من الأمثلة على نماذج التكلفة للأرشفة على الـ APS هو تخصيص رسم مالي لكل صورة ورسم مالي لكل استرجاع. لم يتم حتى الآن القيام بدراسات مؤكدة للتكلفة على الأمد الطويل، بل تمت إسقاطات لتحديد النقطة التي يصبح عندها استخدام الـ ASP مفيداً بدلاً من نموذج التخزين الداخلي والعكس بالعكس.

الجدول رقم (١٠٢,١). مقارنة وسائط الأرشفة ((Anon (b)، ٢٠٠١).

وسط الأرشيف	كلفة الوسط/ميغابايت	السرعة	الميزات	المساوئ
RAID	عالية	الأسرع	مُستخدمة لجميع الأرشيفات قصيرة الأجل	– سعر عالي لكل غيغابايت – وسط غير قابل للفك
DTL و شريط ثنائي مزدوج	منخفضة إلى متوسطة	منخفضة إلى متوسطة للملتف الثنائي	– الوسط الأقل تكلفةً – الوسط الأعلى سعةً – الأنظمة الملتفة الثنائية تُحسن سرعة الوصول – معدل نقل عالي نسبياً	أزمنة بحث بطيئة
MOD	عالية	متوسطة	– مُستخدمة من قبل أغلب بائعي الـــ PACS اليوم – قوية للتخزين خارج الشبكة طويل الأجل – أوقات البحث جيدة	معدلات نقل بطيئة
DVD	متوسطة	متوسطة	قد يساهم الاستخدام التجاري واستخدام العملاء في تخفيض السعر بشكل كبير	معـــايير الـــــ DVD التجاريـــة/الـــصناعية غـــير مكتملة
مركز بيانات على الموقع	متغيرة ولكنها على الأغلب منخفضة	متغيرة وأخفض من التخزين المحلي	توحد الأرشيف	– تحتاج لشبكة عالية السرعة – قد لا تتوافـــق أولويـــات المؤسسة من أولويات الـــ PACS
ASP	متغيرة ولكنها على الأغلب منخفضة مكلفة عند احتساب جميع التكاليف	متغيرة وأخفض من التخزين المحلي	لا تحتاج المؤسسة لأن تهتم بتفاوت التكاليف ولا بتحديثات النظام ولا بالنـــسخ الاحتيـــاطي ولا بالاسترجاع في حال الكوارث ولا بكادر الدعم	– فقدان السيطرة – مسائل محتملة بالنسبة إلى السرعة

الفكرة الأخرى المشابهة للأرشفة في الـ ASP هي تحديد موقع أرشيف للمؤسسة بأكملها في قسم تكنولوجيا المعلومات (IT) وأرشفة جميع أنظمة المعلومات بما في ذلك أنظمة الـ PACS وأنظمة معلومات المختبرات (LIS) في موقع مركزي.

أداء نظام الأرشفة وتبادل الصور
PACS Performance

ناقش مقطع الأرشيفات الوارد أعلاه كم البيانات الكبير الذي يُحتمل أن يتدفق خلال نظام الـ PACS في فترة من الزمن. تُعتبر سرعة الاسترجاع وكذلك تسامح الخطأ (التكرار) اثنين من التحديات التي يتم مواجهتها عند التعامل مع هذه الكمية الكبيرة من البيانات. يُضيف كل من هذين العاملين كلفة كبيرة لأي نظام PACS قوي.

السرعة Speed

يطلب أطباء الأشعة زمن استرجاع سريع. لقد اعتاد هؤلاء الأطباء على استعراض الفيلم المعلق مسبقاً على صناديق فحص أفلام الأشعة السينية المُزودة بمحركات، وما دامت الملفات المناسبة معلّقة فإنه بإمكان هؤلاء الأطباء مشاهدة مقارنات متسلسلة وأفلام أخرى سابقة ذات صلة بشكلٍ سريع. إن تكنولوجيات الـ PACS التي تحدد سرعة الاسترجاع والعرض هي سرعة معالجات محطة العمل (أو محطات العمل) مع حجم الذاكرة(غيغا بايت) وبطاقات ربط الفيديو السريعة الخاصة وسرعة الشبكة وما يرتبط بها من أجهزة توجيه ومحاور (الحد الأدنى هو ١٠٠ ميغا بايت إيثرنت، بينما تُعتبر إيثرنت الغيغا بايت أو الألياف هي الحل الأمثل). كما يؤثر الإحضار المُسبق الأمثل (أي التأكد من توفر سجلات الاسترجاع في الأرشيف قريب المدى) وسرعة الأرشيف قريب المدى والأرشيف بعيد المدى على الأداء الكلي للنظام.

يجري حالياً تطوير تكنولوجيات جديدة تُعالج قضيتي السرعة والتكلفة للـ PACS. تُسمى إحدى هذه التكنولوجيات بالتركيب الديناميكي للنقل (Dynamic transfer Syntax, "DTS"). يسمح نظام الـ DTS بإرسال معلومات الصور بشكل تبدأ فيه وضوحية النقل منخفضة ومن ثم تزداد مع متطلبات الوضوحية الأعلى. على سبيل المثال، يمكن في محطات العمل الثالثية إرسال الصورة بوضوحية دنيا (إلا إذا تم طلب الوضوحية العظمى) بدلاً من إثقال الشبكة وإبطاء محطة العمل بالصورة كاملة الوضوحية (انظر إلى الشريط الجانبي للـ DTS فيما يلي).

التكرار Redundancy

يمكن تصميم أنظمة الكمبيوتر الحديثة عالية التوافر ومرتفعة التكلفة بحيث تصل إلى زمن جاهزية قدره ٩٩,٩٩٩٪. إذا حدث زمن التوقف كله في مرة واحدة فإنه يصل إلى حوالي خمس دقائق في السنة. تستخدم مثل هذه الأنظمة الشبكات التكرارية ومخدمات الملفات التكرارية ومحركات الأقراص القابلة للتبديل السريع (محركات

الأقراص التي يمكن تغييرها بوجود الطاقة) ونظام الـ RAID ووحدات الطاقة القابلة للتبديل السريع وأجهزة الكمبيوتر ذات المعالجات المتعددة وغيرها من المكونات عالية الموثوقية. مع ازدياد استخدام نظام الـ PACS بشكلٍ كبير في البيئات التي لا تستخدم الأفلام فإنه يُصبح نظاماً هاماً ويجب أن يكون جاهزاً في كل الأوقات تقريباً. كما يمكن للعديد من خيارات التكرار هذه أن تُزيد السرعة (على سبيل المثال، شبكات مناطق التخزين (SAN) مع توصيلات بقنوات الألياف البصرية) لكنها يمكن أيضاً أن تتسبب بزيادة كبيرة في التكاليف. يحتاج تصميم الأنظمة إلى أن يُلبي متطلبات زمن الجاهزية للمؤسسة بينما في الوقت نفسه يُلبي متطلبات التكلفة. يُعتبر زمن التوقف خمس دقائق في السنة ممتازاً بينما يُعتبر زمن التوقف ساعة واحدة (أي زمن جاهزية ٩٩,٩٩٪) مقبولاً، أما زمن الجاهزية الذي يساوي ٩٩,٩٪ (أي ما يُكافئ زمن توقف قدره حوالي ثمان ساعات) فقد لا يكون مقبولاً لاسيما إذا حدث كل زمن التوقف مرةً واحدة. تُصمم أجهزة الكمبيوتر التي تستخدم الـ COTS القياسية والتي تعمل بـ Microsoft NT 4.0 بحيث يكون زمن جاهزيتها ٩٩,٥٪ (أي زمن توقف قدره يومين في السنة).

تجمع إحدى تكنولوجيات الكمبيوتر الجديدة الواعدة بين متطلبات التكرار وموازنة الحمل لتوفير السرعة وميزات الأمان ضد الفشل المتقدمة. بدلاً من تركيب مُخدمات تكرارية والتي تكون في نمط الاستعداد (مرآة)، فإن هذه الأنظمة تستخدم البرمجيات لإدارة مجموعة من المخدمات التي تبدو وكأنها مضيف واحد بالنسبة إلى المستخدم النهائي ولكنها تُوازِن عبء العمل بين أجهزة الكمبيوتر. يؤدي ذلك إلى تحسين الأداء بينما تعمل جميع المخدمات بشكلٍ صحيح وتتحسس للمشاكل ومن ثم تسمح بالعمل المستمر، وعند فشل أحد المخدمات فإن السرعة تنخفض قليلاً.

ضغط البيانات
Data Compression

مع متطلبات التخزين الكبير لأنظمة الـ PACS ومتطلبات عرض الحزمة الكبير لشبكاتها، فإن نظام الـ PACS يبدو مرشحاً جيداً للضغط. هناك شكلين أساسيين للضغط: ضغط بدون خسارة أو ضغط بخسارة. لا يؤدي الضغط "بدون خسارة" إلى أي تشوه في الصورة وعادة ما يكون متوسط الضغط بنسبة ٣ : ١ فقط. أما الضغط "بخسارة" فيتسبب ببعض التشوه في الصور ولكن يمكن لمعدل الضغط أن يصل إلى ٢٠٠ : ١.

هناك منهجيتين شائعتين لضغط الصور: المجموعة المشتركة لخبراء التصوير (Joint Photographic Experts Group, "JPEG") والمويجات (Wavelet). إن منهجية الـ JPEG هي الأكثر شيوعاً وهي مُدرجة في معيار الـ DICOM. تسمح المويجات بنسب ضغط أعلى وتقوم لجنة الـ DICOM بالبحث في هذه المنهجية من أجل توحيدها وإدراجها في التحديث المستقبلي لمعيار الـ DICOM. توصي الـ ECRI (Anon، ٢٠٠١) بأن يتم في الوقت الراهن استخدام فقط

الضغط بدون خسارة على أي صورة يتم قراءتها من قبل طبيب الأشعة على الأقل حتى يتم حل القضايا القانونية المحيطة باستخدام الضغط مع الخسارة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الـ ECRI توصي باستخدام الضغط بطريقة الـ JPEG حتى تتم الموافقة على مقاييس الضغط بطريقة المويجات.

اعتبارات التكلفة
Cost Considerations

تُعتبر تكنولوجيا الـ PACS باهظة الثمن (انظر الجدول رقم ١٠٢,٢). يمكن لتكلفة أربع محطات عمل تشخيصية أن تصل إلى ما يزيد عن ١٥٠٠٠٠ دولار لكل محطة. غالباً ما يتطلب الأمر تحسينات في البنية التحتية والتي يمكن أن تكون مكلفة. تعتمد تكلفة هذه التحسينات على حجم وعمر ونوع البناء والقضايا التنظيمية المختلفة التي يمكن أن تعترض طريق هذه التحسينات (على سبيل المثال، إلغاء الاسبستوس).

لقد تبين أن وفورات تنفيذ الـ PACS تتراوح من أربع دولارات لكل دراسة تصوير (وفورات في الفيلم وما يرتبط به من تكاليف معالجة وإمداد الفيلم) إلى ١٢ دولاراً للدراسة (مثل وفورات الأفلام ومُتطلبات الإنتاج والتخفيض في عدد موظفي غرفة الأفلام ووفورات في مكان تخزين الأفلام). يمكن أن تصل وفورات ٢٥٠٠٠٠ دراسة (أفلام) في السنة ما بين مليون وثلاثة ملايين دولاراً. تصل تكلفة تنفيذ نظام PACS من أجل ٢٥٠،٠٠٠ دراسة في السنة مع ٢٠ محطة عمل تشخيصية إلى حوالي ٥ ملايين دولار أمريكي في عام ٢٠٠٠. مع الأخذ بعين الاعتبار تكاليف الدعم السنوي (برمجيات وتجهيزات) التي تقدر بنحو ١٠٪ سنوياً ونفقات التحديث السنوية التي تُقدَّر بنحو ١٠٪ سنوياً وعمر النظام الذي يُقدر بسبع سنوات لأغراض الاستهلاك، فقد تصل فترة استرجاع رأس المال إلى ثلاث سنوات (لوفورات أربع دولارات لكل دراسة) أو قد يكون الاسترجاع سريع جداً (لوفورات ١٢ دولاراً لكل دراسة).

تُشكل التحسينات في مجال التكنولوجيا والبنية التحتية للمستشفيات فرص لتحسين فعالية التكاليف لشراء وتنفيذ أنظمة الـ PACS، وتتضمن ما يلي:

- توقيت المشروع (أي تنسيق تنفيذ الـ PACS مع تركيب البنية التحتية لشبكة عالية السرعة في المباني الجديدة وخلال التغييرات الكبيرة في التشكيل).
- زيادة استخدام محطات العمل (القائمة) المرتكزة على شبكة الإنترنت وجعل هذا الاستخدام مثالياً إلى أقصى حد ممكن.
- استخدام أرشيف شامل للمؤسسة.

- تقليل زمن التحول الذي يتم فيه الاستخدام المتزامن لكل من الـ PACS والتكنولوجيات القائمة على الأفلام لنفس الجهاز.
- تحسينات إنتاجية قسم الأشعة من خلال تحسين سير العمل (وهو ما يتطلب التكامل المُحكم للـ PACS ونظام الـ RIS).

الجدول رقم (١٠٢,٢). عينة عن التكاليف الابتدائية وتكاليف الدعم للبرمجيات والأجهزة.

البند	تكلفة البرمجيات والأجهزة	التطبيق
برمجيات PACS، أرشيف MOD طويل الأجل، RAID قصير الأجل، مخدم ويب	٢٠٠٠٠٠٠ دولار (تخمين عريض) اعتماداً على التكرار وحجم الـ RAID و حجم وسط الأرشيف طويل الأجل	نظام رئيسي
خمسة محطات عمل (رباعية الرؤوس) تشخيصية عالية الوضوحية	١٥٠٠٠٠ دولار لكل محطة = ٧٥٠٠٠٠ دولار	أطباء الأشعة = محطات عمل للقراءة الأولية
خمسة عشر محطة عمل (ثنائية الرؤوس) تشخيصية عالية الوضوحية	٧٥٠٠٠ دولار لكل محطة = ١١٢٥٠٠٠ دولار	أطباء الأشعة = محطات عمل للقراءة الأولية
وصول ثانوي (باستخدام COTS قائمة على الويب) مع فيديو مُحسَّن	٢٠٠ لكل واحدة، ٥٠٠٠ دولار لترخيص الكمبيوتر الشخصي والفيديو والبرمجيات = ١٠٠٠٠٠٠ دولار	قراءة ثانوية
تجهيزات رئيسية باهظة الثمن والإجمالي الخاص بالبرمجيات	٥٠٠٠٠٠٠ دولار	
دعم سنوي للبرمجيات والأجهزة عند ١٠%	٥٠٠٠٠٠ دولار بالسنة	
النفقات السنوية للتحديث	٥٠٠٠٠٠ دولار بالسنة	

الدعم المستمر
Ongoing Support

إنّ نظام الـ PACS هو نظامٌ ديناميكي حيث يُعتبر الدعم التقني المستمر بالنسبة لهذا النظام أمرٌ غاية في الأهمية. من المطلوب بعد التنفيذ وجود فريق دعم للحفاظ على التشغيل الفعال للـ PACS. يُساهم كلاً من حجم النظام وكمية الدعم الداخلي (مقابل التعاقد) بشكلٍ أساسي حجم الكادر المطلوب ومستوى المهارة المطلوبة من هذا الكادر. يجب بطبيعة الحال إدراج نفقات كادر الدعم (التعاقد أو الداخلي) في تحليل تكاليف الـ PACS. بينما

يسمح الـ PACS بتخفيض كادر دعم غرفة الملفات إلا أنه سوف يؤدي إلى زيادة كادر دعم تكنولوجيا المعلومات. على الرغم من أن حجم كادر تكنولوجيا المعلومات المطلوب هو أقل بكثير من حجم كادر غرفة الملفات إلا أن رواتب كادر تكنولوجيا المعلومات هي أعلى بكثير.

تتغير أنظمة الـ PACS باستمرار مع تقديم البائع النموذجي لتحديثٍ واحد أو تحديثين أساسيين في السنة والكثير من التحديثات الطفيفة لإصلاح الأخطاء. قد يتسبب تركيب وتنفيذ التحديثات بزمن توقف أكبر من الزمن التوقف الذي قد ينتج من فشل في الأجهزة أو عمل مُجدول أو غير مُجدول على النظام. يُعتبر التأكد من صحة التحديثات قبل التركيب من أحد اهتمامات الدعم لاسيما في بيئة الـ PACS متعددة البائعين (مثل التأكد من أن الإصدار الجديد a.0 للـ PACS يعمل مع الإصدار الجديد b.2 لبرامج الـ CR).

فيما يلي وصف موجز لوظيفتين نموذجيتين من وظائف كادر الدعم:

المدير العام/مدير نظام الـ PACS: إن وظيفة هذا الشخص هي توجيه الجهد الإجمالي للـ PACS والعمل كهمزة وصل بين بائع الـ PACS ومُستخدمي الـ PACS وإدارة المستشفى كما يقوم بالإشراف على مسئول البيانات وتنسيق كل عمليات الدعم (أي الدعم الداخلي و/أو الدعم الذي يتم شرائه من البائع).

مسئول البيانات/مسئول النظام: إن لأي نظام PACS مُتطلبات روتينية لدعم البيانات من أجل بناء جداول البيانات وتصحيح مشاكل البيانات وتنفيذ عمليات النسخ الاحتياطي الروتينية وتدريب المستخدمين النهائيين. يجب بالنسبة لمعظم النظم الكبيرة اتخاذ الترتيبات اللازمة لتقديم بعض الدعم على مدار ٢٤ ساعة يومياً ولسبعة أيام في الأسبوع.

التخطيط لتثبيت نظام الأرشفة وتبادل الصور
PACS Installation Planning

من الأهمية بمكان قبل شراء النظام أن نفهم كيف سوف يتم استخدام هذا النظام. هل ستُجري الغالبية العظمى من أطباء الأشعة القراءات الرئيسية في غرف قراءة خاصة بجهازٍ ما أم في غرفة قراءة الـ PACS المركزية أم في مكاتبهم؟ هل سيكون موقع أجهزة الـ PACS (على سبيل المثال، المخدمات والمخازن الاحتياطية) في قسم الأشعة أم في قسم تكنولوجيا المعلومات أم في مكانٍ آخر؟ كيف ينبغي أن يتغير سير العمل في قسم الأشعة لتحسين الإنتاجية مع الـ PACS؟ في أي مكان سوف تتوضع قارئات الـ CR؟ إذا تم اعتبار أن ٧٠٪ من عمل قسم الأشعة النموذجي هو أفلام عادية وأن تكلفة الـ DR هي تكلفة عالية، فمن المرجح من أجل رقمنة عمل الأفلام العادية هذه أن يتم استخدام الـ CR كجزء متكامل من قسم الأشعة الرقمية. أين سوف يوجد مكتب مدير الـ PACS؟ من الناحية المثالية ينبغي أن يكون بالقرب من أجهزة الـ PACS. كيف وأين سوف يستعرض الأطباء الذين تتم مراجعتهم الصور (على

سبيل المثال، محطات عمل ثانوية لـ PACS أو أي جهاز كمبيوتر على شبكة الإنترنت)؟ ما هي متطلبات الكمبيوتر لاستعراض الصور بالنسبة لنظام الـ PACS القائم على شبكة الإنترنت؟

غرفة القراءة
Reading Room

سوف تتضمن تركيبات نظام الـ PACS منطقة قراءة واحدة أو أكثر مُجهزة من أجل قراءة الصور إما وفقاً للجهاز (مثل منطقة قراءة الـ CT ومنطقة قراءة الـ CR) أو وفقاً لتشريح الجسم (مثل منطقة قراءة الجسم ومنطقة قراءة العصبية ومنطقة قراءة العظام). تُحدَّد مُتطلبات النظام بارامترات كابلات الشبكات (مثل الألياف أو كابل الزوج الملتوي من الفئة ٥). ينبغي أثناء التخطيط تضمين أطوال إضافية من الكابلات كلما تم تثبيت كابل جديد أو تحديث كابل قديم. تتصف معظم الأنظمة بالمرونة الكافية للسماح بالقراءة من أي محطة عمل تشخيصية أولية على الرغم من أن بعض التجهيزات قد تتطلب محطات عمل متخصصة. على سبيل المثال، تستخدم محطات العمل لدراسات الموجات فوق الصوتية والطب النووي شاشات ملونة بينما تتطلب بعض دراسات الـ MRI و CT أدوات ثلاثية الأبعاد وأدوات أخرى أكثر تطوراً.

تُعتَبر الإضاءة من أهم العوامل الحاسمة التي يجب مواجهتها أثناء تصميم غرف قراءة نظام الـ PACS. ينبغي أن لا يكون لغرف قراءة نظام الـ PACS سوى كمية محدودة من الضوء المحيط الدخيل القادم من وراء محطة العمل. إن لمسائل الإضاءة الخلفية والوهج تأثيراً كبيراً على قابلية قراءة الصور في محطات العمل. تُعتبر الإضاءة غير المباشرة ضرورية في تصميم الغرفة بما في ذلك أجهزة الإنارة المكتبية من أجل قراءة التقارير الورقة. تتعقد معايير التصميم البسيط هذه وقد تُصبح مستحيلة عند خلط أنظمة القراءة التي تستند إلى الفيلم (مثل صناديق فحص صور الأشعة السينية المزودة بمحركات ومصابيح عالية الشدة) مع محطات عمل الـ PACS في نفس الغرفة. ومن الواضح أن توفر تدفئة وتهوية وتكييف الهواء وكذلك العدد المُسهب من المآخذ الكهربائية تُعتبر من الأمور المطلوبة أيضاً.

التحديات
Challenges

يُزود جميع بائعي الأجهزة المتوافقة مع الـ DICOM بيان مطابقة DICOM لكل جهاز. ما تزال مراجعة بيان مطابقة الـ DICOM مهمة حرجة ومعقدة بعض الشيء حيث إنها يجب أن تتم على كل زوج من مكونات الـ PACS والأجهزة التي يجب تتصل مع بعضها. يجب أن تتم هذه المقارنة قبل التنفيذ الأولي لـ PACS للتجهيزات القائمة والجديدة. كما يجب أن يتم مراجعة توافق الـ DICOM قبل إجراء أي تحديثات أو إضافات على الـ PACS أو التجهيزات. إذا كان الكادر الداخلي غير قادر على إجراء المراجعات لبيان مطابقة الـ DICOM عندئذ يجب على

المؤسسة النظر في التعاقد مع خبراء خارجيين لضمان التوافق الكامل وأن الأجهزة سوف تعمل كما هو مخطط لها. يكتسب هذا أمر أهمية خاصة عندما يكون زوج الأجهزة قيد البحث مُقدَّم من قبل صانعَين مختلفَين. إن أحد الأسباب الشائعة لمشاكل الـ PACS متعدد المصادر هو التعارض بسبب استخدام أحد الأنظمة لبياناتٍ خاصة لا يفهمها النظام الآخر.

يمكن لتحسين سير العمل أن يؤثر بشكلٍ كبير في إنتاجية قسم الأشعة. إن إحدى مسائل التكنولوجيا التي من شأنها أن تحسن سير العمل إلى حدٍ كبير هي تحسين التكامل بين نظام الـ RIS ونظام الـ PACS. في الوقت الراهن، ما لم يتم شراء نظام الـ RIS ونظام الـ PACS من نفس البائع (وأحيانا حتى ذلك لا يساعد) فإن التكامل يكون في حدوده الدنيا. من الأمثلة على التحسينات المطلوبة: (١) الحد من الحاجة إلى الإدخال المكرر للبيانات (مثل البيانات الديموغرافية وزمن بدء الفحص وإتمام الفحص)، (٢) الإرسال التلقائي للرسائل من الجهاز إلى نظام الـ PACS و/أو نظام الـ RIS بخصوص إتمام الفحص المفتوح.

غالباً ما يحتاج الجراحون في غرفة العمليات (OR) إلى الرجوع إلى صور الأشعة السينية أثناء الجراحة في الوقت الذي يوجد فيه كمية كبيرة من الإضاءة الخلفية في الـ OR. تكتظ الكثير من الـ ORs بأجهزة الفيديو وغيرها من التجهيزات. لذا فمن تحديات نظام الـ PACS هو تطوير أنظمة سهلة الاستخدام (أجهزة وبرامج) مع ألواح مسطحة عالية التألق أو تكنولوجيات عرض أخرى تتمكن من التعايش مع البيئة ذات الضوء المحيط المرتفع.

أما التحدي الآخر فهو التكامل بين نظام الـ PACS لقسم الأشعة (ومحطات العمل الثانوي الخاصة به) مع بعض مجالات التخصص الأخرى وحاجتها إلى أنظمة PACS مُصغرة متخصصة. عادة ما يتم شراء هذه النظم المتخصصة بشكلٍ منفصل حيث تكون بعض أجزائها متكررة في نظام وأرشيف الـ PACS لقسم الأشعة. تشمل الأمثلة على ذلك التجهيزات التي يكون فيها اللون أمراً أساسياً (مثل دراسات دوبلر الملوَّن في الموجات فوق الصوتية أو في الطب النووي) ودراسات الحركة (مثل الحلقات السينمائية لمختبرات القسطرة القلبية أو تخطيط صدى القلب) وتكامل البيانات الفيزيولوجية مع الصور لمختبرات القسطرة القلبية وتخطيط العلاج في قسم علاج الأورام بالأشعة.

الموجز

Summary

تستمر تكنولوجيا الـ PACS بأن تكون مدفوعة من قِبَل التحسينات في طاقة أجهزة الكمبيوتر وتخفيض أسعار الـ COTS. تستخدم التطبيقات المتخصصة للمخدمات والأرشيفات تكنولوجيا الحاسوب الأحدث والأكثر تكلفة، في حين يستخدم الجزء الأكبر من محطات العمل أنظمة COTS. تسمح مواصلة تنفيذ الإنترنت عالية السرعة بالعرض

الثانوي للصور من أي محطة عمل. تُحسن المعايير الجديدة (مثل DICOM-2000/JPEG-2000) سرعة وقابلية التشغيل البيني للأنظمة في حين تُزيد التجهيزات الرقمية الجديدة (مثل التصوير الرقمي للثدي) من نطاق الـ PACS. سوف تسمح هذه الأنظمة لطبيب الأشعة بأن يُجري القراءة الأولية من أي موقع جغرافي مما يُزيد من استخدام علم الأشعة عن بعد (teleradiology) ويُخفض من تكلفته.

جملة النقل الديناميكية Dynamic Transfer Syntax

قام فريق جامعة Pittsburgh بتطوير جملة النقل الديناميكية (DTS) وهي تُمثل بروتوكول جديد للتوزيع منخفض التكلفة للصور على صعيد المؤسسة. يمكن لتقنية الـ DTS أن تقلل من الحاجة إلى الشبكات المكلفة ذات عرض الحزمة العالي وإلى محطات العمل الأولية عالية الطاقة ومرتفعة الوضوحية. تم تطوير الـ DTS لتلبية مطالب الأطباء الذين تتم مراجعتهم والذين يحتاجون إلى ميزات وضوحية ومعالجة الصور المماثلة لتلك الميزات المتوفرة لأطباء الأشعة في عياداتهم ومكاتبهم الخاصة أو في غرف العمليات. أظهرت البحوث في جامعة Pittsburgh أن تقرير طبيب الأشعة المكتوب (بدون صور) في الوقت المناسب يكون كافياً بالنسبة إلى الطبيب الذي تتم مراجعته في ٦٠٪ من الحالات. في ٢٠٪ من الحالات الأخرى كان من المطلوب وجود مجموعة من الصور منخفضة الوضوحية. أما في الحالات الـ ٢٠٪ الأخيرة فقد طلب الأطباء على الأقل استعراض بعض الصور بنفس الوضوحية التي يتلقاها طبيب الأشعة كما طلبوا أدوات لمعالجة الصور كتلك المتوفرة لطبيب الأشعة. وعلاوة على ذلك، فقد أراد الأطباء اللذين تتم مراجعتهم إمكانية الوصول إلى جميع فحوص المريض المُخزنة في الأرشيف لكي يتمكنوا من تحديد الفحوص التي تستحق المراجعة الإضافية. من دون هذه القدرات فإن الأطباء الذين تتم مراجعتهم سوف يُصرون على استخدام الفيلم، الأمر الذي من شأنه أن يلغي أحد الأسباب الرئيسية لاستخدام الـ PACS (أي تخفيض أو إلغاء استخدام أفلام الأشعة السينية).

يمكن لأن تصل تكلفة محطات عمل نظام الـ PACS النموذجية من النوع التشخيصي إلى ما يزيد عن ١٥٠٠٠٠ دولار لكل وحدة. لقد تم تطوير الـ DTS من أجل حل المشاكل المذكورة آنفاً دون استثمار مئات الآلاف من الدولارات. يستخدم الـ DTS الضغط الذي يعتمد على المويجات لإرسال بيانات محطة العمل المطلوبة الذي تناسب احتياجات المستخدم والشبكة ومحطة العمل. يسمح مخطط بيانات المويجات بإرسال تفاصيل إضافية للصورة فقط عندما يكون المستخدم بحاجة إليها. عندما يتم طلب صورةٍ ما فإن الـ DTS يقوم بتحديد عدد الصور والوضوحية التي يجب إرسالها بعد تقييم الموارد المتاحة في محطة العمل. يسمح نظام تقديم الصور في الزمن الحقيقي هذا باستخدام شبكات أقل قوة مثل شبكة الإيثرنت القياسية (١٠ ميغابت في الثانية أو ١٠٠ ميغابت في الثانية). ومن ثم فإن الـ DTS من الناحية النظرية يسمح بالوظائف الكاملة على محطات عمل الـ COTS مع البنية التحتية القياسية

للشبكة. ما تزال الـ DTS في مهدها ولم تُنفَّذ بعد على نطاقٍ واسع. يبقى أن نرى ما إذا كان سيتم قبولها في الممارسة الفعلية كما هو الحال في مواقع المطورين لها وعما إذا كانت سوف تُطلب بكثرة من قِبَل المؤسسات الكبيرة (مع مئات من الأطباء الذين تتم مراجعتهم وبذلك المئات من محطات العمل ومئات الآلاف من الصور).

الشريط الجانبي للـ DICOM Sidebar DICM

تم تطوير الـ DICOM كمعيار لنقل الصور الرقمية بغية تمكين المستخدمين من استرجاع الصور الطبية والمعلومات المرتبطة بها من أجهزة التصوير الرقمي في شكلٍ موحد بحيث يكون نفسه للأنظمة التي يُقدمها مصنعون متعددون. تم تصميم الـ DICOM ليكون مرناً جداً. يستند هذا التفسير على الإصدار DICOM 3.0.

عادة ما تُشكّل الاتصالات الإلكترونية القائمة على المعايير كمجموعة من الطبقات بحيث تقوم كل طبقة بأداء مجموعة محددة من المهام مثل ترابط الأنظمة المفتوحة (OSI) وهو نموذج من ٧ طبقات أصدرته المنظمة الدولية للمعايير (ISO). يُشبه هذا النموذج (انظر الجدول رقم ١٠٢,٣) شكل الكومة حيث تُشكل الطبقة الأولى (أي الأدنى) الوسائط المادية (مثل الأسلاك أو كابلات الألياف البصرية) والتي سيتم فيها إرسال أو استلام المعلومات، بينما يُشكل الجزء العلوي (أي الطبقة السابعة) برمجيات التطبيق. تهتم الطبقات الوسطى بمجموعات الرموز التي تُستخدَم لتمثيل المعلومات وقواعد إجراء الاتصالات في الطبقة المادية وتفكيك وإعادة تجميع الحزم والاتصالات بين الطبقات ومعالجة الأخطاء. تقوم كل طبقة في الكومة بتنفيذ مجموعة من الوظائف جيدة التحديد كما تقبل الدخل وتوفر الخرج إلى الطبقات المجاورة فقط. تسمح القواعد الموضوعة بالاتصال بين الأجهزة المختلفة عند الطبقة المماثلة لها.

الجدول رقم (١٠٢,٣). نموذج ISO بسبع طبقات.

٧	طبقة التطبيق (Application layer)	تُعطي المستخدم تطبيقات وصول إلى خدمات الشبكة
٦	طبقة العرض (Presentation layer)	تُرمِّز وتحول معلومات المستخدم إلى بيانات ثنائية
٥	طبقة الجلسة (Session layer)	فتح وإدارة وإغلاق الاتصالات بين الكمبيوترات
٤	طبقة النقل (Transport layer)	تُسلسل حزم البيانات وتطلب إعادة نقل الحزم المفقودة
٣	طبقة الشبكة (Network layer)	توجه حزم البيانات عبر مقاطع الشبكة
٢	طبقة ربط البيانات (Data link (MAC) layer)	تنقل إطارات البيانات من كمبيوتر إلى أخر
١	الطبقة المادية (Physical)	تُحدد الكابلات والتوصيلات

من إحدى ميزات الأنظمة ذات الطبقات هو إمكانية استبدال طبقةٍ ما بطبقة جديدة بدون التأثير على الطبقات الأخرى. على سبيل المثال، إذا توفر وسط مادي جديد أسرع من الوسط القديم بمائة مرة (مثل كابلات الألياف مقابل إيثرنت قياسي) عندئذ يمكن فقط تغيير الطبقة المادية من أجل الاستفادة من هذه السرعة الإضافية.

يستخدم الـ DICOM الخدمات لطلب الاتصال مع الجهاز الآخر. سوف يُشير بروتوكول الشبكة إلى أن شبكة متاحة أو مشغولة. إذا كانت الشبكة متوفرة فإن الـ DICOM يبدأ بسلسلة من الإجراءات التي تطلب الاشتراك مع الجهاز الآخر. يشير الـ DICOM إلى الأجهزة بأنها "كيانات التطبيق" (AEs) باعتبار أن برمجيات طبقة التطبيقات (أي الطبقة العليا في الكومة) هي التي تبدأ بعملية الاتصال. يقوم إنشاء الاشتراك بالتفاوض على قدرة كيان التطبيق الذي تحاول الاتصال معه عن طريق طلب قائمة من المهام التي يحتاج إكمالها. ثم يرد كيان التطبيق المتلقي بالبنود المدرجة على قائمة المهام هذه التي يمكنه القيام بها. تستند التبادلات اللاحقة إلى القدرات المشتركة بين كياني التطبيق. على سبيل المثال، إذا كان كياني التطبيق بحاجة إلى تبادل المعلومات الرقمية التي هي أطول من بايت واحد، عندئذ فهما بحاجة أولاً لتحديد كيفية ترميز بايتات البيانات الرقمية. هل يتم تخزين وإرسال البايت الأهم أولاً (أي، "little endian") أو العكس (أي "big endican")؟ إذا كان الجهازين يستخدمان التمثيلات المتعاكسة لتبادل البيانات الرقمية، فإن مثل هذا التبادل سيكون خاطئاً إذا لم تعرف هذه الأجهزة بأن التمثيل غير صحيح وكان بإمكانها تسهيل عملية التحويل. يسمح الـ DICOM بكلا طريقتي التمثيل ويقرر الطريقة التي سوف يستخدمها في مرحلة الاشتراك.

يفصل الـ DICOM البيانات التي يحتاج إلى ارسالها إلى سلسلة من العناصر. قد تحتوي التطبيقات طرق مختلفة لتمثيل القيم المُتضمنة في أي عنصر من عناصر البيانات. يتمتع الـ DICOM بتعريفات محددة للغاية لأنواع البيانات المختلفة تدعى "تمثيلات القيمة" (VR). تشمل الأمثلة على: السلاسل النصية مختلفة الأطوال العظمى والبيانات الثنائية الرقمية والتواريخ والأزمنة. يقوم الـ DICOM بتعريف الـ VR تاريخياً في قاموس البيانات. تم في إصدار DICOM 3.0 والإصدارات الأحدث دمج الـ VRs بشكل صريح في كل عنصر من عناصر البيانات. يسمح الـ DICOM بكلا الطريقتين وتُعتبر هذه المسألة من المسائل التي يتم التفاوض عليها بين كيانات التطبيق في وقت التشارك. يُعتبر الـ VR وترتيب البايت جزء من مجموعة المعلومات اللازمة من أجل التبادل الناجح. تُسمى هذه مجموعة بـ "جملة النقل". وكما ذُكِر في مكانٍ آخر في هذا الفصل، فإن بعض من التكنولوجيات الجديدة (ومعايير الـ DICOM المقترحة) تدعم جمل النقل الديناميكية مما يسمح للاشتراك المحدد بأن يُغير البارامترات بشكلٍ سريع وفقاً لظروف البيانات المطلوبة (على سبيل المثال، يحتاج طالب الصورة وضوحية منخفضة للإطلاع على الصور المصغرة، ولكنه يتم اختيار وضوحية أعلى بعد صورة معينة من أجل العرض على كامل الشاشة).

كما تبنى الـ DICOM بعض الاصطلاحات من المعايير الأخرى مثل تنسيق اسم المريض المُحدَّد بمعيار HL-7 (مستوى الصحة 7). كما يُحدِّد الـ DICOM 3.0 العلاقة بين الكيانات. على سبيل المثال، طريقة ارتباط مُحدد هوية المريض (مثل الاسم ورقم السجل الطبي) بالدراسة وطريقة ارتباط الدراسة مع مجموعة من الصور وطريقة ارتباط سلسلة من الصور مع تقرير طبيب الأشعة. يُدعى هذا النموذج الموجه نحو الكائن بـ "نموذج العلاقة بين الكيانات".

يتمتع كل كيان من كيانات "نموذج العلاقة بين الكيانات" بسمات معينة. على سبيل المثال، إن لكيان المريض سمات التفاصيل مثل: اسم العائلة والاسم الأول ورقم السجل الطبي والطول والوزن وتاريخ الميلاد. يُحدِّد معيار الـ DICOM عدة كائنات معلومات (على سبيل المثال، المريض والدراسة والجهاز) وصفاتها الإلزامية والاختيارية المشروطة. تكون الصفات المشروطة مطلوبة (إلزامية) فقط في ظل ظروف معينة. عندما يحتاج الـ DICOM إلى تعريف كائن فريد (المريض على سبيل المثال) فإنه يستخدم تقنية قياسية دولية لتوليد مُعرِّف فريد يُدعى "UID".

يُقدم الـ DICOM خدمات موحَّدة يتم استخدامها مع كائنات المعلومات. يقوم الـ DICOM ببناء خدماته الأكثر شيوعاً من مجموعة من عناصر الخدمات التي تُسمى "عناصر خدمة رسائل الـ DICOM" (DIMSEs). هناك ١١ عنصراً DIMSEs تقع في فئات العمليات (على سبيل المثال، تخزين أو استرداد الاستعلام) أو الإخطارات (على سبيل المثال، تقرير الخطأ أو تقرير الحدث). تتطلب بعض خدمات الـ DICOM أكثر من DIMSE واحد. على سبيل المثال، يتكون استرداد الاستعلام من عناصر DIMSEs التالية: "find" و"get" و"move". تُستخدم عناصر الـ DIMSEs البسيطة هذه لبناء معظم الخدمات في الـ PACS. بسبب طبيعة الـ PACS الموجهة نحو الكائن، فإنه تتم الإشارة إلى الخدمات بـ "فئات الخدمة". ومن المهم أيضاً معرفة ما إذا كان الجهاز يقدم خدمة أو يستخدم الخدمة أو كليهما على حدٍ سواء. وكجزء من عملية التفاوض التي نوقشت سابقاً، فإنه يتم التبليغ ما إذا كان الجهاز هو مزود لفئة الخدمة (SCP)أو مُستخدم لفئة الخدمة (SCU) أو كليهما. يتم جمع فئات الخدمة وكائنات المعلومات لتشكيل الوحدات الوظيفية للـ DICOM. يُسمى هذا المزيج "فئة زوج الخدمة- الكائن (SOP)".

يتبع بيان مطابقة الـ DICOM هيكلاً قياسياً ما يجعل مقارنة وثيقتي مطابقة اثنين من الصانعين للـ DICOM أمراً ممكناً. تشمل محتويات بيان المطابقة على نموذج التنفيذ للتطبيق وسياقات العرض التي سوف يتم استخدامها وطريقة معالجة الارتباطات وفئات الـ SOP التي سوف يتم دعمها وبروفيلات الاتصالات التي سوف تُستخدم وأي توسيع أو خصخصة أو تخصص.

إن نموذج التنفيذ للتطبيق هو مخطط يوضح كيفية ارتباط التطبيق مع الفعاليات المحلية (داخل الجهاز الطبي) والفعاليات البعيدة (عبر واجهة الـ DICOM). تتألف سياقات العرض من فئة (أو فئات) الـ SOP وجمل النقل المستخدمة في فئة الـ SOP تلك. يجب على بيان المطابقة أن يصف طريقة تعامل الفعالية مع الارتباطات وفيما إذا كان بإمكانه التعامل مع ارتباطات متعددة، وإذا كان الأمر كذلك فما هو عدد هذه الارتباطات.

تُشكل قائمة فئات الـ SOP التي يتم دعمها أحد الأجزاء الرئيسية لبيان المطابقة. تصف هذه القائمة فئات الخدمة وكائنات المعلومات التي سيتم عرضها وقبولها. في حين يُشير بروفيل الاتصالات إلى استخدام أي بروفيل من بروفيلات الاتصالات المتاحة. أما معايير الاتصالات المتاحة فهي "نقطة إلى نقطة" و OSI و TCP-IP.

يُدرج القسم الأخير من بيان المطابقة الخصخصات أو التخصصات أو التوسعات للفئات القياسية. إن التوسعات هي مجموعات قوية للفئات القياسية ولا ينبغي أن تُسبب أي مشاكل رئيسية في التوافق. لا تَستخدم فئات الـ SOP المتخصصة أو الخاصة UIDa مُحددة من قِبَل الـ DICOM، ومن ثم فهي عرضة لكي تُسبب عدم توافق بين الصانعين. ويُعتبر ذلك سبباً شائعاً لمشاكل البائعين المتعددين للـ DIVOM حيث يكون استخدام البيانات الخاصة هو سبب عدم التوافق المجهول.

لنأخذ المثال التالي: لنفترض أن التقني يقوم بإرسال ("pushing") دراسة MRI من ماسح MRI إلى محطة عمل باستخدام DICOM بحيث يتمكن طبيب الأشعة من إجراء قراءة أولية قبل مغادرة المريض منطقة ماسح الـ MRI. يختار المشغل الدراسة المحددة لإرسالها إلى محطة عمل معينة. يحمل بروتوكول الاتصالات المستخدم (عادة ما يكون TCP-IP) هذه الدراسة من الماسح إلى محطة العمل. تبدأ برمجيات التطبيق في ماسح الـ MRI بتجميع سلسلة من حالات الـ SOP (أي حالات تخزين الـ MRI). تبدأ عملية الـ DICOM بعملية الاتصال بجعل تطبيق ماسح الـ MRI يطلب ارتباطاً مع محطة العمل. تقوم شبكة الاتصالات قبل ذلك بخطوات تأسيس قناة اتصال بين ماسح الـ MRI ومحطة العمل. يقوم ماسح الـ MRI خلال الارتباط بتوفير سياق العرض مما يُخبر محطة العمل بأنه يدعم فئة الـ SOP لتخزين صور الـ MRI على أنها مستخدم لفئة الخدمة. كما يعلن الـ MRI أن جملة النقل لديه هي VR ضمنية "little endian". تستجيب محطة العمل بأنها تدعم فئة الـ MRI SOP كمزود ومُستخدم لفئة الخدمة. تستجيب محطة الخدمة بأنها تتمكن من استخدام جملة النقل VR "little endian". يُرسل إخطار القبول بالربط إلى الأجهزة المعنية.

يقوم الـ MRI بإرسال الطلب من أجل خدمة التخزين جنباً إلى جنب مع الصور إلى البرامج الذي يقوم بتجميع رسالة الـ DICOM من خلال تجميع الأوامر اللازمة وعناصر البيانات. يتم التعامل مع الـ DIMSEs (اللازمة من أجل فئة خدمة التخزين ومجموعة البيانات) من قِبَل كومة الاتصالات حيث يتم تقسيم الرسالة إلى حزم أصغر. تتم إعادة تجميع الرسالة في "رسالة DICOM" في كومة الاتصالات (طبقات ISO الوسطى) من محطة العمل. يتم استقبال رسالة الـ DICOM المُجمَّعة، والتي تحتوي على بيانات الصورة، في تطبيق محطة العمل حيث يقوم بتخزين صور الـ MRI في ذاكرة تخزين مؤقتة محلية من أجل العرض، وإذا لزم الأمر من أجل معالجة الصور.

تعتمد سرعة هذه العملية على كمية البيانات وسرعة وسط التخزين وعلى محطات العمل والبنية التحتية للشبكة. من المعتاد أنه ما إن يتم تأسيس الارتباط حتى يمكن إعادة استخدامه من أجل حالات SOP متعددة. يجب إغلاق الارتباطات عندما لا يكون هناك حاجة إليها وإلا فسيتم إضاعة موارد الكمبيوتر وإبطاء النظام.

كلمة شكر Acknowledgment

شكراً إلى الدكتور الفيزيائي الطبي J. Anthony (Tony) Seibert من مركز Davis الطبي في جامعة California على مراجعته لهذا الفصل.

المراجع

References

American College of Radiology (ACR) and National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM), Parts 1 through 15. http://medical.nema.org/dicom.html.
Anon. Picture Archiving and Communication Systems. Health Devices 29 (11):3,2000.
Anon (a). DICOM Reference Guide. Health Devices 30 (1-2):3, 2001.
Anon (b). Inside PACS: Costs and Benefits of an ASP E- Archive Model. Medical Imaging 4:, 2001.

PACS Vendor References

AGFA: http://www.agfa.com/healthcare
General Electric: http://www.gemedicalsystems.com
Kodak: http://www.kodak.com/US/en/health/productsByType/pacs/pacs_Product.jhtml
Stentor: http://www.stentor.com/