

200401045A

厚生労働科学研究費補助金

医療技術評価総合研究事業

ベッドサイド自動安全監視システムに関する研究

平成16年度 総括研究報告書

主任研究者 大江和彦

平成17(2005)年3月

目 次

I. 総括研究報告

ベッドサイド自動安全監視システムに関する研究
総括および主任研究報告書 大江和彦

II. 分担研究報告 小山博史

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

IV. 研究成果の刊行物・別刷

厚生労働科学研究費補助金（医療技術評価総合研究事業）

総括および主任研究報告書

ベッドサイド自動安全監視システムに関する研究

主任研究者 大江和彦 東京大学医学部附属病院・教授

研究要旨 本研究の目的は、バーコードや I C タグチップによりマーキングされた医療者・患者・医療機器・医療材料・医薬品などを、医療者の介入行為なしにベッドサイドでその物品等がどの患者のどのオーダのために準備されたものであるかを自動識別することにより、本来持ち込まれるべきでない物品等がベッドサイド近傍に持ち込まれたり、輸液ポンプに接続されようとしていたりしていることを自動認識して、患者の取り違えや誤投薬などを未然にリアルタイムに警告するまったく新しいタイプの医療事故防止手法を開発する。1 年目は患者周辺における医療機材・医薬品、医療者の自動識別手法の基礎実験を行った。具体的には、ベッドサイドの患者の頭部近傍の位置、可動型点滴スタンドの上部および輸液ポンプ等の上面、個室の入り口上部に、それぞれ患者が映りこまない位置に小型 TV カメラを患者の同意のもとに設置し、24 時間以上の動画記録を行ったのち、この動画を分析して、画面内に入り込む医師および看護師の ID 識別マークの読み取り、および持ち込まれた点滴ボトルの画像認識が可能になるカメラ位置と解像度等について分析を行うため、まずは各構成部分の予備実験を研究室で行った。また、点滴ボトルに RFID シールを貼付し、可動型点滴スタンドにとりつけた RFID 読み取り装置により、どの程度の確率で準備された医薬品の識別情報を自動読み取り可能であるかについて調査を実施した。2 年目以降は想定される患者周辺環境を実際に用意して実験を行い、識別精度の向上と適用時における問題点を抽出する。

分担研究者：

小山博史（東京大学大学院医学系研究科・臨床バイオインフォマティクス研究ユニット・特任教授）、佐久間一郎（東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境学専攻 人間環境学講座・教授）、美代賢吾（東京大学医学部附属病院医療機器材料管理部・講師）、田中勝弥（東京大学医学部附属病院企画情報運営部・助手）、松谷司郎（東京大学大学院医学系研究科・臨床バ

イオインフォマティクス研究ユニット・特任助手）

A. 研究目的

本研究の目的は、バーコードや I C タグチップによりマーキングされた医療者・患者・医療機器・医療材料・医薬品などを、医療者の介入行為なしにベッドサイドでその物品等がどの患者のどのオーダのために準備されたものであるかを自動識別するこ

とにより、本来持ち込まれるべきでない物品等がベッドサイド近傍に持ち込まれたり、輸液ポンプに接続されようとしていたりしていることを自動認識して、患者の取り違えや誤投薬などを未然にリアルタイムに警告するまったく新しいタイプの医療事故防止手法を開発する。

B. 研究方法

1 年目は患者周辺における医療機材・医薬品、医療者の自動識別手法の基礎実験を行った。具体的には、ベッドサイドの患者の頭部近傍の位置、可動型点滴スタンドの上部および輸液ポンプ等の上面、個室の入り口上部に、それぞれ患者が映りこまない位置に小型 TV カメラを患者の同意のもとに設置し、24 時間以上の動画記録を行ったのち、この動画を分析して、画面内に入り込む医師および看護師の ID 識別マークの読み取り、および持ち込まれた点滴ボトルの画像認識が可能になるカメラ位置と解像度等について分析を行うため、まずは各構成部分の研究室における予備実験および資料調査を行った。また、点滴ボトルに RFID シールを貼付し、可動型点滴スタンドにとりつけた RFID 読み取り装置により、どの程度の確率で準備された医薬品の識別情報を自動読み取り可能であるかについて調査を実施した。

C. 研究結果

TV カメラの位置は、患者頭部、床頭台、カーテンレールの頭側、個室の場合には入り口内側上方の 4 点が候補位置として検討された。通常の NTSC のカメラ解像度では接近者のネームカードやバーコードを処理することは困難であった。顔の自動認識実験は

継続して実験中である。ズーム機能カメラの場合には可能であったが、特定地点に自動的にズームすることは実験環境では可能なこともあったが、実用化は困難であると考えられた。一方、微弱電波を出す電池搭載型アクティブ IC タグを医療スタッフのネームカード裏に装着してベッドサイドへの接近者を自動認識することは、ベッドサイドに 1 ベッド 1 台のリーダを設置することにより容易であった。一方、持ち込まれる物品については、今年度は点滴スタンドに下げられる輸液ボトルの認識方法の検討を行った。輸液ボトルにアクティブチップを装着し、上記のベッドサイドリーダで自動識別することは可能であった。パッシブタグの装着では、点滴スタンド下部から上部にむけて指向性の強い電波を発射すれば識別は可能であるが、TV カメラによるボトルマーキング認識は良い結果が得られなかった。

医療機器の所在の自動認識については、移動頻度の高い輸液ポンプにアクティブセンサーを装着しセンサーネットワークを形成する実験を行った。10 m 程度以内に他のセンサーがある環境での連携実験に成功した。

D. 考察

ベッドサイドの接近者の自動認識は可能であり、リーダの指向性を調整することにより 4 床室に 1 台のリーダでも個々のベッドへの接近者の識別は可能であると考えられる。同時に患者の自動認識も同じ方法で可能である。現在、アクティブチップは 200 円程度であるため、医療者および入院患者に装着することは今後のコスト低下を見込むと実現性があると考えられる。医薬品特に輸液ボトルの自動認識については、パッシブタグと医療スタッフに装着したリー

ダとの組み合わせ、あるいは点滴スタンド上部にリーダを装着するなどの手法を更に実験する必要がある。

E. 結論

TVカメラ画像によるベッドサイド接近者の自動認識は今年度では解決できなかった。顔の自動認識による接近者の識別は可能性があり、継続して実験を進める予定である。アクティブ IC タグによる接近医療者の自動認識は実現性が高いと考えられた。輸液ボトルの自動認識はアクティブ IC タグでは可能であるが、コスト面を考慮するとパッシブタグとリーダの位置関係をさらに研究することが必要である。

一方、医療者や患者毎に無線 IC タグがカード等で付与されていても、誤って別の無線 IC タグを持っている場合には、カメラ映像での照合も必要になると思われるが患者に対して精神的な苦痛を与えない配慮が肝要となる。また、転倒事故や機器の誤作動防止のため極力ベッドサイドのケーブル類は少なくすることも重要となり、それを含めた統合環境の検討が必要である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

S.Matsuya, Y.Onogi, N.Shinohara, I.Yamaguchi, H.Watanabe, Kazuhiko Ohe, K.Yamaguchi, T.Niidome, H.Oyama: Physician order entry of ultrasound examination with handheld wireless terminal. Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics, edited by Osman

M.Ratib, H.K.Huang, Proceedings of SPIE Vol.5371, 43-51,2004.

大江和彦: 医療安全に果たす IT の役割. 医療安全, Vol.1 No.2, 10-14, 2004.

小山博史:医学におけるロボットと VR 技術の融合, 計測と制御, 第 43 巻第 2 号,145-149,2004

2. 学会発表

篠原信夫, 小山博史, 松谷司郎, 大江和彦: 病院情報システムデータのみからの医療事故発生疑い患者抽出手法. 医療情報学,24(Suppl), 648-649, 2004.

渡辺宏樹, 山口泉, 大江和彦: 輸血バーコード照合システム: 照合率の考察. 医療情報学,24(Suppl), 630-631, 2004.

山口泉, 田中勝弥, 渡辺宏樹, 相馬一之, 渡部浩之, 中崎一身, 大江和彦: 診療情報システムにおける記録登録時の生体認証機能のあり方についての検討. 医療情報学,24(Suppl), 1238-1239, 2004.

大江和彦, パネルセッション「ユビキタス情報社会を支える技術基盤と応用」講演: 21 世紀 COE 次世代指きたす情報社会基盤の形成第 1 回設立記念シンポジウム,2004 年 10 月 27 日、東京

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

分担研究者の報告書を省略し総括兼主任研究者報告書に一括する理由

本研究は、各分担研究者が分担領域ごとに独立して課題を設定して研究を進めることにより研究成果物を作成する形態ではなく、「ベッドサイド自動安全監視システムに関する研究」課題を各研究者の視点から検討して、主任研究者の成果物に反映させるという手法をとり、合同でひとつの成果物の作成を目指したものである。したがって、各分担研究者の成果を個々に分離して分担報告書を作成することは困難であるとともに無意味である。

よって本報告書では、主任研究者による総括兼主任研究者報告書に一括して報告書を作成することとした。なお例外的に分担研究者小山博史についてはこの方針によらず作成されたので提出する。

厚生労働科学研究費補助金 平成16年度分担研究報告書
分担研究課題名：安全監視とベッドサイド環境の統合
分担研究者名：小山博史（東京大学大学院医学系研究科）

【背景】ベッドサイドにおける医療行為の安全監視は、医療の安全を確保する上で極めて重要な課題の一つである。しかし、現状では、ベッドサイドでの医療安全性の確保は医療者の指差し確認等による対策が主である。近年バーコードを用いた薬剤投与時の患者と薬剤の照合確認のシステムが導入され始めている。しかし、バーコードを用いた確認はバーコード照合装置自体が大きいこともあり、今後無線 IC タグとカメラ等を統合した医療行為の監視システムの実現が期待されている。

【目的】本研究の目的は、先ずカメラやマイク、無線 IC タグの計測装置や輸液ポンプやベッドサイドモニタなどを用いた入院中の患者のベッドサイド環境における医療安全を支援する統合環境の設計を行う上で基本となる設計思想について提案することを目標とした。

【方法】調査分析対象として2004年4月1日から大学や民間の研究機関などを対象に開放されているけいはんな情報通信融合研究センターにおける「ユビキタスホーム」と呼ぶ実生活型ユビキタス・ネットワーク実証実験テストベッド環境と著者らが開発したベッドサイドウエルネスシステム™が本研究の統合環境の設計を行う上で類似した研究であると判断し、そのシステム仕様を下にベッドサイドにおける安全管理性を向上させる上で必要と思われる統合環境設計の基本思想の提案を試みた。

【結果】「ユビキタスホーム」は、リビングと書斎、寝室、ダイニング・キッチン、浴室、トイレがあり、1世帯の家族が実際に生活できる空間として設計されている。大病院であれば特別病室に類似していた。この居住空間のあらゆるところに、ユビキタス関連技術を試すための各種機器が配置されている。各部屋と玄関、廊下の適当な場所に、カメラやマイク、ディスプレイ、無線 IC タグ・システム、床圧力センサ、人感センサが設置され、それらの機器はネットワークで相互に接続されている。設置されているセンサは、①カメラ、マイク、②センサフロアタイル：センサユニットサイズ 900mm×900mm×14mm、③感圧センサ：225 個でユニット（センサピッチ 60mm）、④センサウォールモジュール：赤外線人感センサ2個/900mm、最大検出距離 2m 以上、⑤アクティブ型無線 IC タグシステム：周波数315.1MHz、伝送速度9600bps、送信出力微弱電波（500 μ V/m以下3m法）、⑥パッシブ型無線 IC タグシステム：周波数2.45GHz、記憶容量1,024bits（ユーザー領域912bits）、読み取り距離最大1.5m、書き込み距離70cm（基準値）であった。映像の入力装置としては、電動ドーム型カメラと赤外線カメラの2種類を取りつけられ、用途に応じて使い分けられていた。このシステムの基本的な考え方は、生活している人間の情報獲得と個人適応型インターフェース、コンテキストウェアサービスの実現とされ、機能分散協調ユビキタス環境の統合環境用アーティファクトとして(1)サービス・インターフェース層、(2)コンテキスト層、(3)機能分散協調層、(4)ネットワーク層で構成されていた。特徴的だったのは、

母親子供メタファによるロボットインタフェースの開発と利用者に計測を意識させないケーブルレスの設計であった。

ベッドサイドウエルネスシステム™は、がん患者の闘病環境を支援する目的で開発したもので、ベッドの上でひざ（膝）の曲げ伸ばしと足首の回転運動ができる足踏み装置と、3面液晶ディスプレイによる広画面映像、鳥の声やせせらぎ、木々のそよぐ音、香りを乗せた微風などによって自然の中を散歩しているような感覚を与える感覚統合 VR 提示システムからなる。CDD カメラを用いた患者の状態のモニタリングと遠隔の家族とのTV会議が可能であり、呼吸や心電図等の生理データの取得装置も有する。システム自体がやや大きいため設置側からの医療行為がやや制限される。

上記の2つのシステムからベッドサイドにおける安全監視の統合環境設計に必要なと思われる設計思想としては下記のことがあげられた。

- ① 医療安全監視用システムは、患者に対して極力精神的肉体的傷害を与えないこと。
- ② 医療安全監視用システムは、診療行為を極力妨げないこと。
- ③ 医療安全監視用システムは、遠隔で正常動作確認が取れること。

【考察】例えば、看護師による抗がん剤の輸液開始が正確に行われるためには、担当医師における抗がん剤の処方（研修医の場合にはスーパーバイザの確認）、指示書の記載または印刷、薬剤部における処方監査、払い出し、調剤（医師あるいは薬剤師による病棟調剤がある場合が抗がん剤の場合は多い）、指示書に基づいた病室への薬剤の運搬、入室、患者及び投与薬剤の照合、点滴、輸液ポンプの設定、患者からの報告あるいは指示書による終了時間に応じた点滴の終了、次の点滴の指示書に基づいた患者及び内容の照合、点滴薬剤の取り外し、交換、輸液ポンプの設定となる場合が多い。この業務の安全管理上の最終段階での確認の安全性を向上させるためには、輸液ポンプの機能に無線 IC タグ認識機能を付加して、その情報をもとに最終照合を行うことが考えられる。しかし、この機能を追加しても、輸液ポンプ自体から情報を得るにはネットワーク対応機能を要する。あるいは、輸液ポンプ自体から輸液設定情報を別ユニットに出力し、無線 IC タグ情報は別ユニットで照合し、ネットワークを通じて情報を送受信することも考えられる。医療者や患者毎に無線 IC タグがカード等で付与されていても、誤って別の無線 IC タグを持っている場合には、カメラ映像での照合も必要になると思われるが患者に対して精神的な苦痛を与えない配慮が肝要となる。また、転倒事故や機器の誤作動防止のため極力ベッドサイドのケーブル類は少なくすることも重要となる。

今後、さらにベッドサイド統合環境の設計における輸液ポンプやバイタル測定機器の遠隔からの稼働監視に必要なネットワーク化について調査分析を行う予定である。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
S.Matsuya, Y.Onogi, N.Shinohara, I.Yamaguchi, H.Watanabe, Kazuhiko Ohe, K.Yamaguchi, T.Niidome, H.Oyama	Physician order entry of ultrasound examination with handheld wireless terminal. Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics	Proceedings of SPI	Vol.5371	43-51	2004
小山博史	医学におけるロボット と VR 技術の融合	計測と制御	第 43 巻第 2 号	145-149	2004
大江和彦	医療安全に果たす IT の役割。	医療安全	Vol.1 No.2,	10-14	2004
篠原信夫、小山博 史、松谷司郎、大 江和彦	病院情報システムデー タのみからの医療事故 発生疑い患者抽出手法	医療情報学	24(Suppl)	648-649	2004
渡辺宏樹、山口 泉、大江和彦	輸血バーコード照合シ ステム：照合率の考察	医療情報学	24(Suppl)	630-631	2004
山口泉、田中勝 弥、渡辺宏樹、相 馬一之、渡部浩 之、中崎一身、大 江和彦	診療情報システムにお ける記録登録時の生体 認証機能のあり方につ いての検討	医療情報学	24(Suppl)	1238-1239	2004

Physician order entry of ultrasound examination with handheld wireless terminal

Shiro Matsuya^a, Yuzo Onogi^a, Nobuo Shinohara^b, Izumi Yamaguchi^b, Hiroki Watanabe^b, Kazuhiko Ohe^b, Kenichi Yamaguchi^c, Takuro Niidome^d, and Hiroshi Oyama^a

^aDept. of Clinical Bioinformatics, Graduate School of Medicine, University of Tokyo,
7-3-1 Hongo Bunkyo, Tokyo, 113-8655, Japan;

^bDept. of Planning, Information and Management, University of Tokyo Hospital,
7-3-1 Hongo Bunkyo, Tokyo, 113-8655, Japan;

^cTechnical Dept. No.3 Medical Solution Group TechMatrix Corporation,
2-19 Yanagibashi Taito Tokyo, Japan 111-8520;

^dMedical Systems Div., Systems Integration Group, Fujitsu Limited,
1-17-25 Kamata Ohta Tokyo, Japan 144-8588

ABSTRACT

Although our hospital has an electronic order entry system, physician order entries must be performed using one of a limited number of terminals which are located in places like nurse stations. Due to this limitation, the mobility of the ultrasound machine cannot be fully exploited if a physician wants to perform a mobile ultrasound examination far from an entry terminal. In addition, this situation increases the possibility that a physician will fail to issue a paper voucher of the examination. In an attempt to resolve these problems, we have developed a mobile physician order entry system that incorporates ultrasound machines equipped with handheld wireless terminals, which use the 802.11b standard and the bandwidth is 11 Mbps. This is an efficient way to order ultrasound examination entries because physicians can register entries at any location in a hospital ward. In addition, the proposed system is a reliable method by which to attach images upon ultrasound examination entry.

Keywords: ultrasound examination, wireless LAN, order entry system, handheld terminal, DICOM MWM, PACS

1. INTRODCUTION

The Ash et al. survey¹ says that computerized physician order entry (CPOE) was not available to physicians in the better part of the hospitals in United States of America and another report² says that installation of such systems might be harmful, especially in overall medical costs. However, in Japan, considering the advantages/disadvantages of CPOE, most university hospitals have one of such electronic order entry systems used by the medical staffs of the hospitals for many years. One of the big problems is that physician order entries have to be performed using one of a limited number of terminals that are located in places like nurse stations or examination rooms. Due to this limitation, the mobility of the ultrasound machine cannot be fully exploited if a physician wants to perform a mobile ultrasound examination far from an entry terminal. In addition, performing ultrasound examinations at such locations in a hospital increases the possibility that a physician will fail to issue a paper voucher of the examination, because the physician can not remotely provide an examination entry electronically.

In an attempt to resolve these problems, we have developed a mobile physician order entry system that uses ultrasound machines equipped with handheld terminals, which use the 802.11b standard and the bandwidth is 11 Mbps. As well as being used for some applications of today's Picture Archiving and Communication Systems (PACS),^{3,4} wireless devices, personal digital assistants (PDAs) or hand-held tablet-PCs, are used for many medical applications such as drug certification before injection and supply processing and distribution (SPD) in a hospital. The proposed system is a reliable method by which to attach images upon ultrasound examination entry. In this report, we introduce a new mobile

¹smatsuya-tky@umin.ac.jp

physician order entry system used ultrasound machines equipped with handheld terminals under the wireless network. Throughout this report, the term of "order entry" shall denote not only the ordering of an entry, but also the registration of an execution of the entry.

2. METHODS

This wireless order entry system has been used in practice since July, 2003 at University of Tokyo Hospital, a 1,100-bed facility located in Tokyo, Japan. Our hospital cares for over 3,000 outpatients per day, and 375,000 cumulative inpatients annually across all specialities. University of Tokyo Hospital is one of advanced treatment hospitals in Japan. Our hospital performs over 4,000 ultrasound examinations per month. These are performed in examination rooms, in the department of radiology, and also at patient bed side.

Prior to using a wireless handheld terminal via wireless LAN, the terminal's Media Access Control (MAC) address has to be registered to specific access point devices in the inpatients' ward. The wireless handheld terminal also requires some initial preparations before use. The handheld terminal requires an Extended Service Set Identifier (ESSID) and a 40-bit Wired Equivalent Privacy (WEP) encryption key to communicate to access points that the MAC address is registered. The initial setting of a handheld terminal is registered within the handheld device itself and the terminal is mounted upon an incorporable ultrasound machine by the technical staff in the hospital. The default setting must be reinstalled again in case the battery power of the handheld terminal is interrupted. First, we will explain the network structure of our inpatients' ward. Second, an overview of our order entry with handheld terminal will be described, and screen transition on a handheld terminal and some screen images will be illustrated.

2.1 A network structure and deployment of portable ultrasound machines

The network structure of our inpatients' ward is shown in Fig.1. We have thirteen floors for inpatients and each floor has two or three portable ultrasound machines. The network of the inpatients ward, which is a part of our hospital LAN, is composed of two Level 3 (L3) core switches and 93 intelligent switching hubs. In addition, we have 238 wireless access points in the network that allow us to use wireless LAN in the ward. The network in the ward is divided into four logical networks using Virtual LAN (VLAN) technology as follows; a network for medical care (for hospital information system), a network for multimedia use, a network for education and research, and for bed-side terminals for inpatients. We use the logical network for medical care to order entries from wireless handheld terminals.

Accessing one logical network from another logical network is controlled by an Access Control List (ACL). The ACL is built in accordance with our security policy. In particular, the logical network for medical care is fully isolated from the other three networks because patients' data is sent across the network, and the data must be protected from illegal accesses.

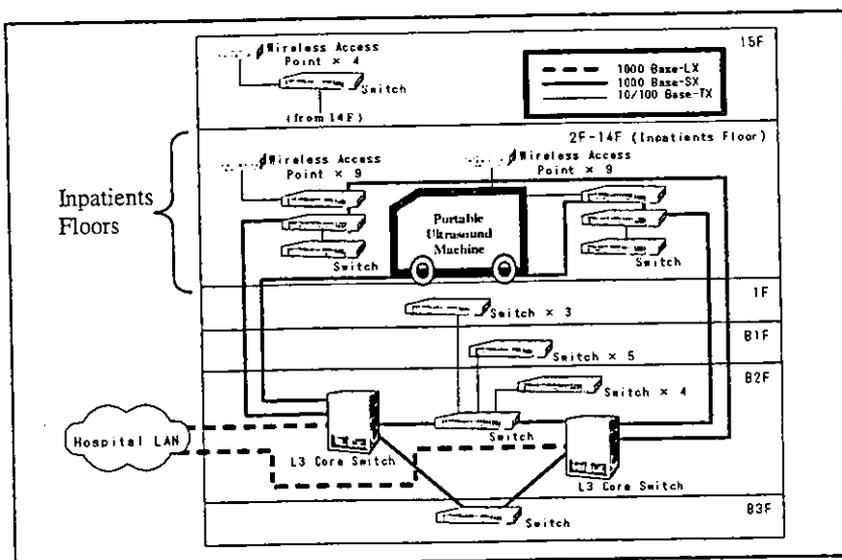


Fig.1 This figure shows the network structure of the inpatients' ward. There are thirteen floors, from the 2nd floor to the 14th floor, for inpatients and each floor has several portable ultrasound machines. We have four logical networks using Virtual LAN technology and accessing to one network from another network is controlled by Access Control List (ACL). Physicians can order entries with wireless handheld terminals using one of the networks assigned for medical care only.

2.2 An overview of the wireless order entry system

Performing a bed-side ultrasound examination, a physician has to relocate a portable ultrasound machine from a specified place at each floor into the patient's room. Just prior to an ultrasound examination, the physician can register an order (the order is at once processed as an order and is executed) by reading the bar-codes on the physician's name tag, the patient's wrist-band, and the ultrasound examination sheet through a Web interface. The handheld wireless terminal (Symbol Technologies; Palm operating system), as shown in Fig. 2, has an optical bar-code reader and a wireless LAN interface (IEEE 802.11b, 11 Mbps). Orders are quickly sent to the hospital information system (HIS), which then transmits the order to the DICOM MWM server through a server which translates protocols between HL7 (Health Level Seven) and CORBA (Common Object Request Broker Architecture) ("HL7-CORBA gateway"). The ultrasound machine can then fetch information about each order entry registered by the handheld terminal. The ultrasound machines used were of two types: the SSA-370A (Toshiba medical) and the HDI-500 (Hitachi Medico), all ultrasound machines can communicate with DICOM MWM and C-STORE under conditions when they are connected to a wired or a wireless LAN. After registration, the physician can start examination by clicking the order listed on the display of the ultrasound machine. After the examination, images are sent to the PACS (TechMatrix) with an examination order ID that identifies the order and the associated images.

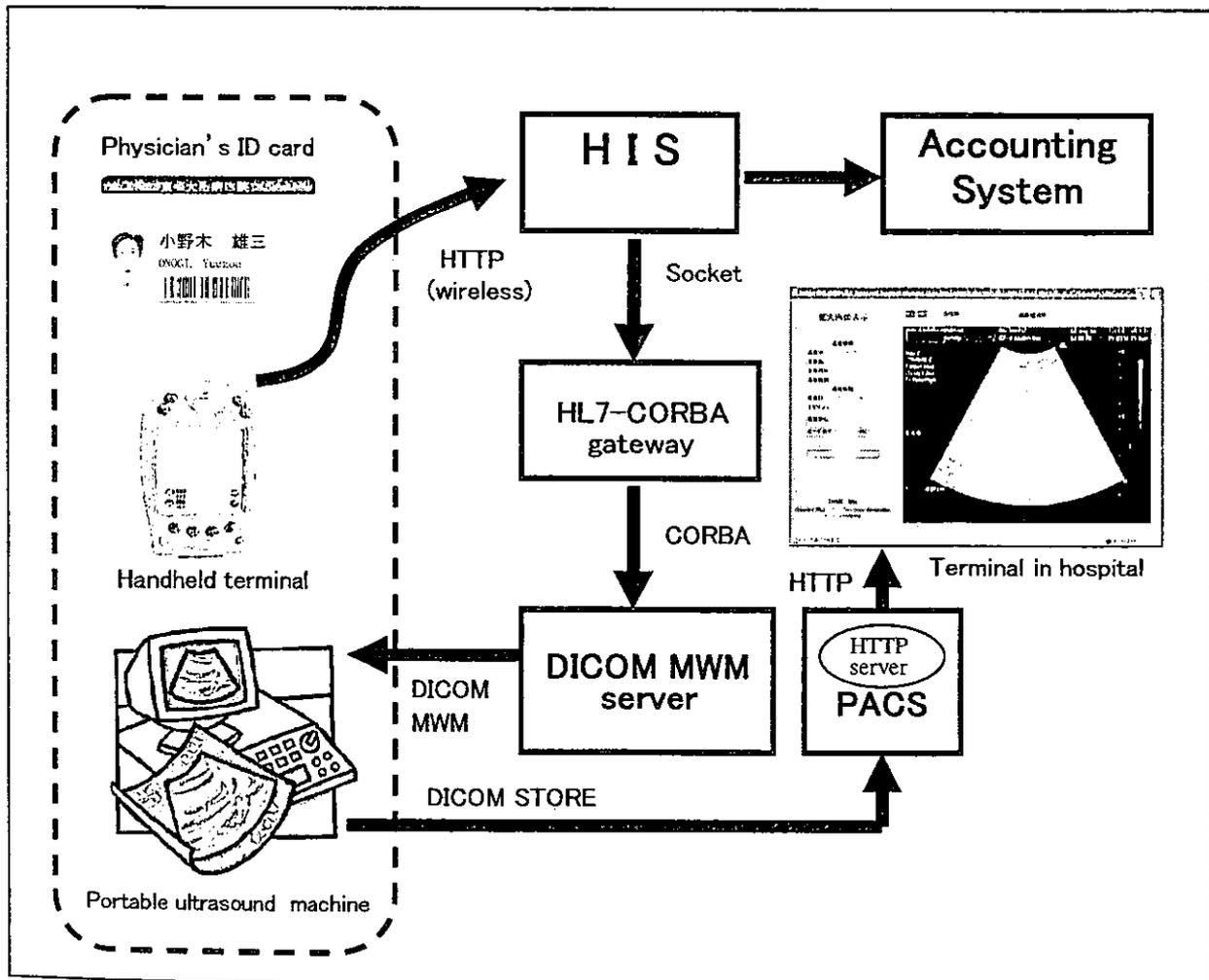


Fig.2 The wireless order entry system is represented schematically in the dotted rounded square. Solid squares depict systems that work with a wireless order entry system, which are made up of HIS, a HL7 - CORBA gateway, a DICOM MWM server, and PACS. The physicians can easily look up images of results of ultrasound examinations on terminals in the hospital.

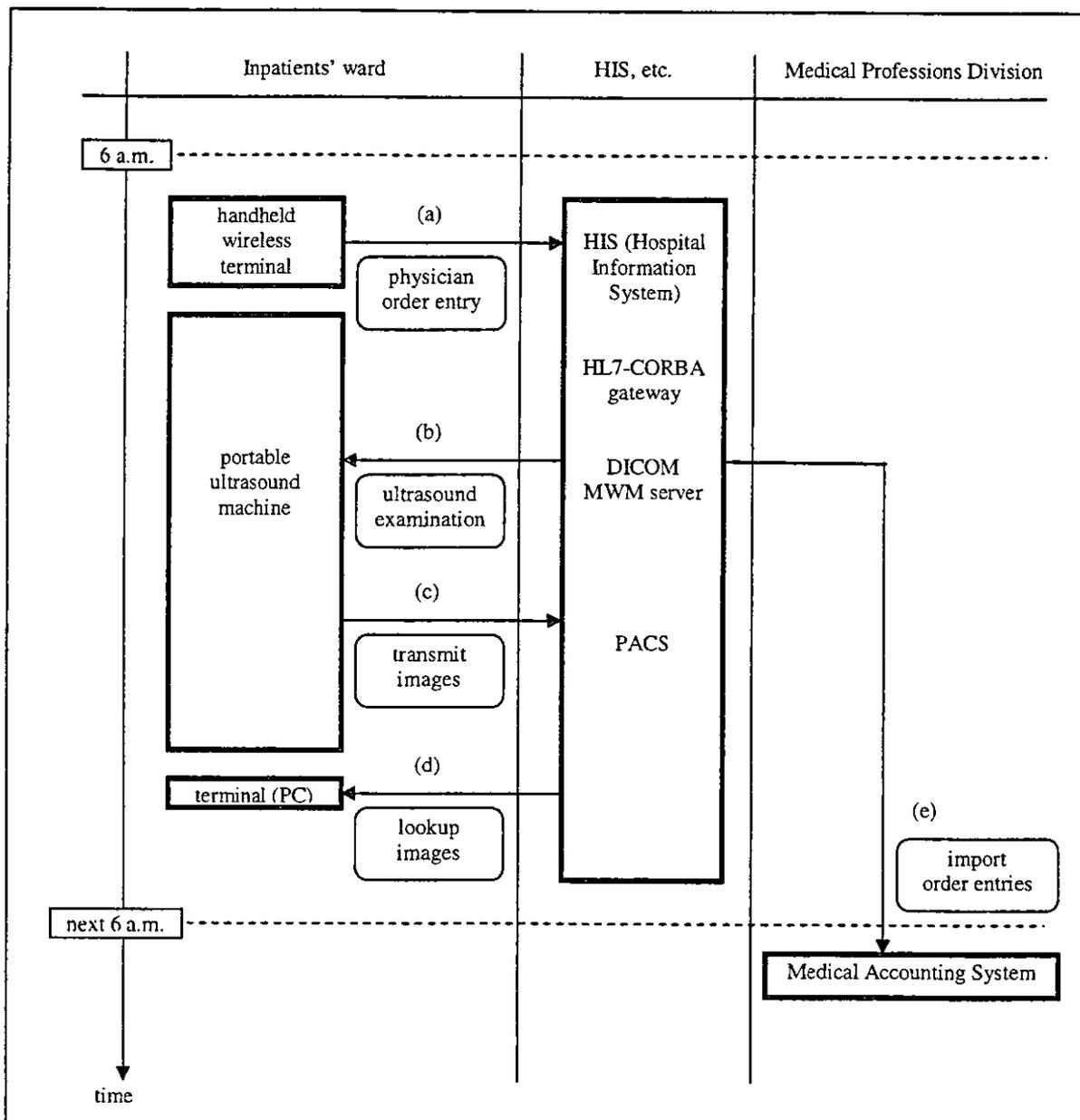


Fig.3 This workflow shows an order entry of an ultrasound examination via handheld wireless terminal. A handheld wireless terminal is equipped with every ultrasound machine and the power source of the wireless terminal is the ultrasound machine to which the terminal is attached. An ultrasound machine has a wired LAN interface (IEEE 802.3) and a wireless LAN bridging adapter. (a) Just prior to a bed-side ultrasound examination, a physician can register an order. (b) The ultrasound machine can then fetch information about each order entry registered by the handheld terminal. (c) After the examination, images are sent via wired LAN to the picture archiving communication system (PACS) with an examination order ID that identifies the order and the associated images. (d) Physicians, laboratory technicians and nurses can look up images of results of ultrasound examinations on any terminal in the hospital. (e) All order entries from the entry system are imported to the medical accounting system every day at 6 o'clock in the morning.

In addition, since HTTP server software is run on the PACS server, physicians, laboratory technicians and nurses can easily look up images of results of ultrasound examinations on any terminal in the hospital. The proposed system is

represented schematically in Fig.2. Order entries which are registered with a wireless handheld terminal can be modified or deleted with any handheld terminals in the inpatient ward by 6 o'clock on the following morning if necessary. The time series of ultrasound examination performed using a wireless handheld terminal is shown in Fig.3.

We next explain the "HL7-CORBA gateway" briefly for readers who are unfamiliar with this system. Our hospital has a gateway server to allow modality systems to communicate with HIS.^{5,6} We call the gateway the "HL7-CORBA gateway". As a general hospital policy, all modality systems that want to talk with HIS have to communicate via this gateway. From the view point of modalities, HIS delivers a unified common access method using this gateway. There are plenty of different modalities in our hospital, but through the gateway, we need not prepare different communications methods depending on the modality.

2.2 Screen transition on wireless handheld terminal

The completion of an order entry using a wireless handheld terminal requires three bar-code-reading operations. A single bar-code-reading operation takes about 10 seconds in order to refresh screens. In this operation, the speed of the response depends on the performance of the portable wireless terminal, the WWW server's performance for processing the messages, and the network bandwidth. This order entry system usually needs no keyboard input or screen touch except the input of a physician's password and the selection of menu items on the screen.

A physician starts an order entry operation with the "login" screen on a terminal (Fig.4). By reading the bar-code on his/her ID card, the data is sent to the WWW server, and the server feeds back a message stating whether the ID is valid. The physician can proceed to the next step if the ID is valid. Just like reading the bar-code on a physician's ID card, the physician reads the bar-code on the patient's wrist-band. After that, the screen displays the patient's information and menu items to be select among (Fig.5). After this, select "bar-code mode" and read one of the bar-codes on the examination sheet attached to the ultrasound machine.

We have an alternative way to order an entry with Palm operating system's graffiti facility or screen touch in case bar-code reading does not work. Trying to correct or delete the orders, we also require input by hand. After completing an order entry, a physician can start the examination which was ordered just before. The screen transition on wireless handheld terminal is shown in Fig.6.

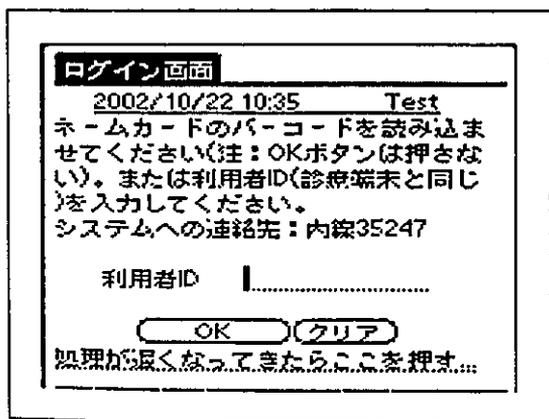


Fig.4
This screen shot shows the "login" screen for physicians. A physician must have an authentication conversation before ordering an entry. The physician reads his/her bar-code on the ID card and inputs his/her password in order to receive authentication. The physician can then proceed to the next step if the password/ID combination is valid.

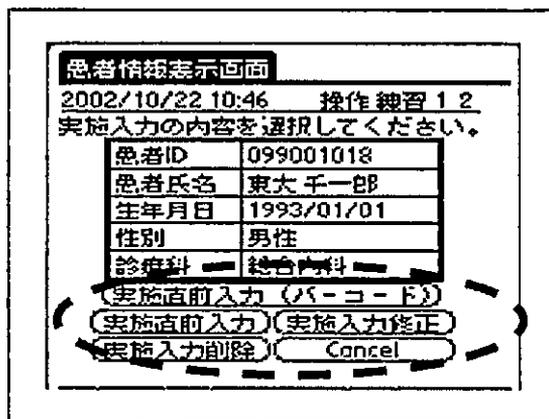


Fig.5
This screen shot shows the "patient information and action selection". A physician touches one of the menu items (dotted circle), usually "bar-code mode" to select a type of examination by reading the examination sheet, and go to the next step. The patient information shown here is for an imaginary patient.

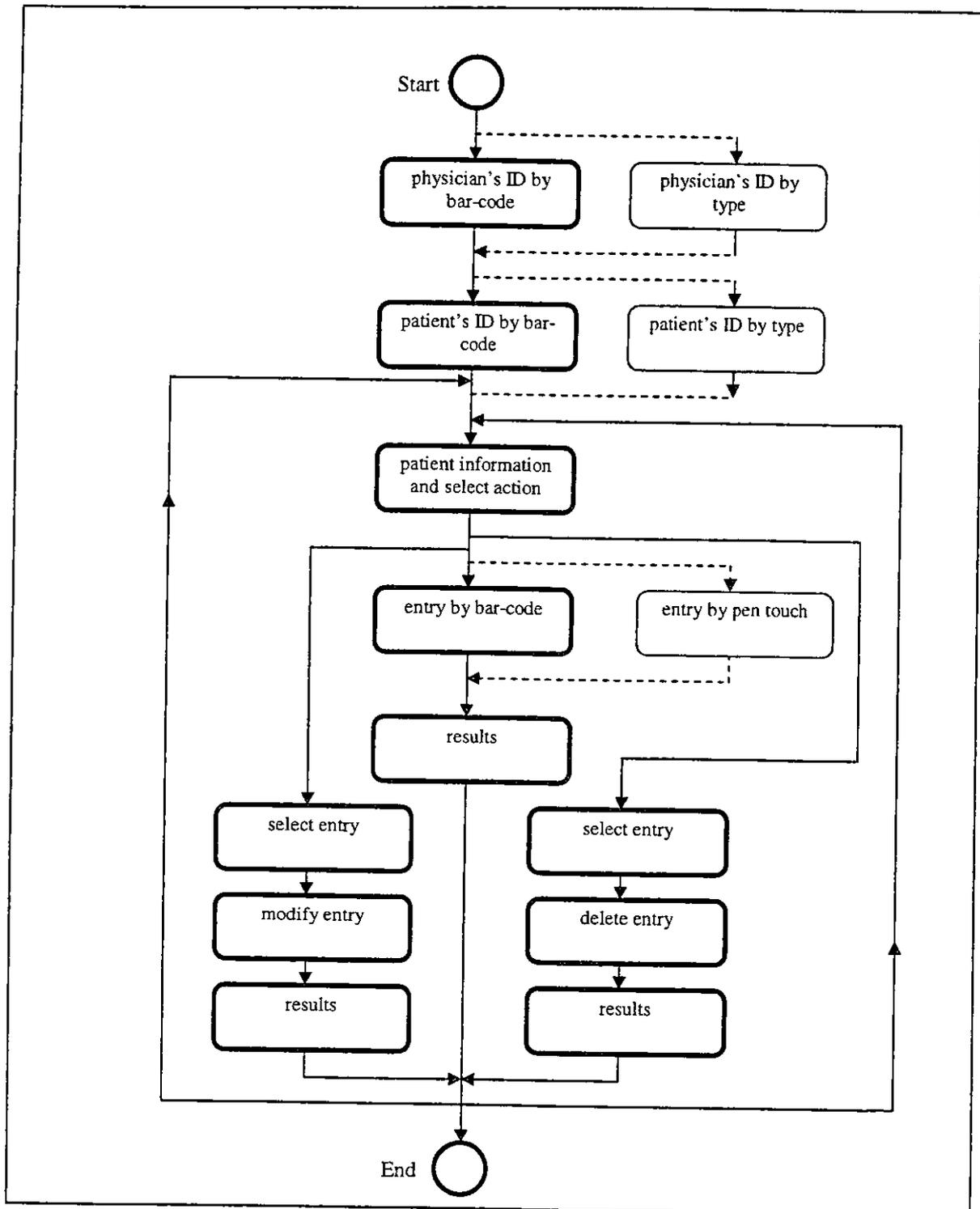


Fig.6 This figure shows a flow chart of the transitions of the screens on wireless handheld terminal during the ordering of an entry of ultrasound machine. Each rounded square corresponds to an equivalent handheld terminal's screen. Solid lines show usual transitions of entry, modification, and deletion of wireless order entry. Dotted lines show alternative transitions of originals if bar-code-reading entries do not work.

3. RESULTS

This is an efficient way to order ultrasound examinations entries because physicians can register examinations at any location in the inpatient ward. In addition, the proposed system is a reliable method by which to attach images upon ultrasound examination entry. The proposed mobile order entry system eliminates the need to issue paper vouchers for ultrasound examinations.

3.1 System usage

This wireless order entry system has been in use in our hospital since July, 2002. Over the subsequent six months, 489 order entries were registered using this wireless order entry system. Figure 7 shows the monthly usage of this system. The reason for the decrease in utilization of this system from January, 2003 to March, 2003 will be discussed in the next section.

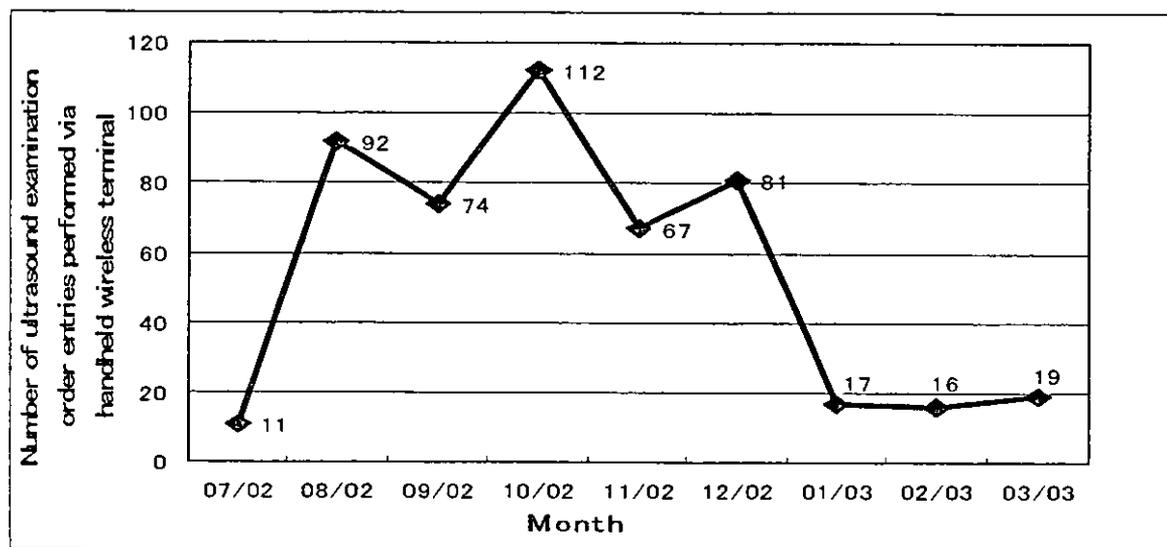


Fig.7 This graph shows the wireless order entry system usage from July, 2002 to March, 2003.

3.2 The system performance of wireless order entry system

Our proposed mobile entry method requires relatively little time compared to the conventional paper-based order entry method. It takes approximately 60 seconds to complete one order entry of ultrasound examination using a wireless handheld terminal. In addition, it takes about 30 seconds to retrieve a patient list from the MWM server to an ultrasound machine. Roughly 90 seconds is required before starting ultrasound examination. However, some physicians may feel 90 seconds is a long time because not many tasks are performed (The doctor need only read three bar-codes and perform a few screen touches) in order to get ready to start ultrasound examinations.

4. DISCUSSIONS

Physician order entry of ultrasound examination using the handheld wireless terminal in our hospital is advantageous in that physicians can register order entries and perform the ultrasound examination at any location in the inpatient ward, but we found several drawbacks in this system outlined below.

4.1 Decrease in usage after the turn of the year

The wireless order entry system was started on July, 2002 at our hospital. Over six months from that time, 489 order entries were registered with this wireless order entry system. Figure 7 shows monthly usage of this system. This graph shows the decrease in the usage of this system from January, 2003 to March, 2003. Why had physicians not used this

system during this period of time? We think that one of the main reasons was battery shutoff of handheld terminals. The battery of a wireless handheld terminal will lose power after approximately one week unless the unit is recharged. In our operational design, a portable ultrasound machine supplies power to the handheld terminal which is attached to the machine. This was not a good assumption. After finishing an ultrasound examination with a machine, a physician moves the machine to a specified place and rarely plugs in the machines. We guess that most of the batteries of the ultrasound machines went dead during the year-end and New Year holidays.

Once the battery of a handheld terminal is shut off, the terminal is initialized at the next boot-up, but a specific default setting is required before use. The initial setting must be set up by one of the engineers at our hospital, but physicians would likely rarely contact the engineers, because bringing the terminals to the engineers requires a great deal of time, and moreover physicians must wait for the terminals to be made ready for use. A physician might return to performing this procedure in the conventional way when a handheld terminal does not work. We need to adopt a periodical working rule, which is to check that computer terminals are shut off by the operating staff at our hospital. Although this was not an advantageous aspect of the system, we feel that it did provide a useful lesson.

4.2 Improvement of failing to issue a paper voucher of examination

Unfortunately, without paper vouchers, we can no longer grasp precisely how many ultrasound examinations have been performed. Even though a physician describes a prescription on a paper voucher, we can not detect how many paper vouchers have not been sent to the accounting division. Paper vouchers for ultrasound examination are wasted or lost unless the vouchers are sent to the accounting division before the examined patient leaves or is discharged from the hospital. Although we can not know the number of paper vouchers which must be sent to the accounting system, it is almost certain that failing to issue a paper voucher of examination can be decreased using this system.

4.3 Wireless LAN support of ultrasound machines and registration of images to PACS

Our initial plan was merely to develop a mobile order entry system for an ultrasound examination in order to eliminate paper vouchers but the authors came up with the idea to "let portable ultrasound machines communicate over wireless LAN". We found that doing so was a reliable method by which to attach images upon ultrasound examination entry.

From the very beginning of this system's operation, a wireless handheld terminal can use wireless LAN to order an entry, but a portable ultrasound machine can not communicate an MWM server or a PACS server via wireless LAN. Although a portable ultrasound machine has a wired Ethernet interface, there is no Unshielded Twisted Pair (UTP) LAN access facility in the inpatient room. Therefore, physicians could not retrieve a patient list from the MWM server to the ultrasound machine and instead had to type inpatient information by hand on the display of the ultrasound examination machine. The physician then had to transmit examination images outside the inpatient's room. In addition, even though the physician transmitted the examination images to the PACS server, the images could not be retrieved easily on terminals in the hospital because the physician has no accession number.

We thus attached a wireless LAN bridging adapter to an ultrasound machine, a physician could then perform an examination by wireless LAN from beginning to end. The physician was then able to order an entry, retrieve the patient list which was ordered just before, and transmit the associated images identified by the order ID. The number of images sent to PACS servers is increasing.

4.4 The need for faster handheld terminals

It takes approximately 60 seconds to complete one order entry of ultrasound examination using a wireless handheld terminal. We now use Symbol Technologies' handheld terminal SPT1746 operated with Palm operating system, and a single bar-code-reading operation takes about 10 seconds in order to refresh Web browser's screen on SPT1746. The browser refresh accounts for the greatest part of the 10 seconds. Therefore, we scheduled a performance measurement in order to improve the usability of the system, comparing the SPT1746 with Symbol Technologies' new handheld terminal, the PPT8846, which runs under Windows CE.NET. In order to complete a single bar-code-reading operation, PPT8846 requires only 3 seconds on average. However, the PPT8846's battery life is short compared to that of the SPT1746. The PPT8846 is somewhat faster than the SPT1746, and this should improve the approximate time required for order entry, but there is room to hope for a handy terminal with a longer battery life.

5. CONCLUSIONS

We developed a mobile physician order entry system using ultrasound machines equipped with handheld terminals which provides an efficient means by which to order entries of ultrasound machines at any location in an inpatient ward. In addition, this mobile order entry system eliminated the need to issue paper vouchers for ultrasound examinations and provided a reliable method by which to attach images upon ultrasound examination entry.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Symbol Technologies, Japan for lending us a new wireless handheld terminal (PPT8846, Windows CE.NET Japanese Edition).

REFERENCES

1. J.S.Ash, P.N.Gorman, V.Seshadri, et al., "Computerized Physician Order Entry in U.S. Hospitals: Results of a 2002 Survey", Preprint of *Journal of the American Medical Informatics Association*, **11**(2), in the press, 2004
2. R.G.Berger, J.P.Kichak, "Computerized Physician Order Entry (CPOE) Helpful or Harmful?", Preprint of *Journal of the American Medical Informatics Association*, **11**(2), in the press, 2004
3. S.G.Erberich, J.Documet, M.Z.Zhou, et al., "Wireless-PDA-controlled image workflow from PACS: the next trend in the health care enterprise?", *Proc. of SPIE Vol. 5033*, H. K. Huang, Osman M. Ratib; Eds., pp. 181-186, SPIE, Bellingham, 2003
4. B-S.Tsao, Y-T.Ching, W-J.Lee, S-J.Chen, et al., "Tablet PC as a mobil PACS terminal using wireless LAN", *Proc. of SPIE Vol. 5033*, H. K. Huang, Osman M. Ratib; Eds., pp. 187-194, SPIE, Bellingham, 2003
5. K.Ohe, "A Hospital Information System based on Common Object Request Broker Architecture (CORBA) for Exchanging Distributed Medical Objects-an approach to future environment of sharing healthcare information", *Proc. of MEDINFO98*, B. Cesnik et al.; Eds, pp. 962-964, IOS press, Amsterdam, 1998.
6. M.Kimura, K.Ohe, H.Yoshihara, F.Kawamata, et al., "MERIT-9; A patient information exchange guideline using MML, HL7, and DICOM", *International Journal of Medical Informatics*, **51**(1), pp. 59-68, 1998.

医学におけるロボットとVR技術の融合

小山 博史*

*東京大学 大学院医学系研究科, 東京都文京区本郷 7-3-1
 * Graduate school of Medicine, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo,
 Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655, Japan.
 * E-mail: hoyama-nsu@umin.ac.jp

キーワード: 医学 (Medicine), バーチャルリアリティ (Virtual Reality),
 ロボット手術(Robotic surgery), 遠隔医療(Telemedicine)
 JL 004/02/4202-0086@2004 SICE

1. はじめに

近年外科手術の術式が大きく変わろうとしている。今までの外科手術は、手術を正確かつ安全に施行するために術野を十分広く得て、直視下で手術を行うことが基本とされていた。しかし、今日の高齢化社会や医療に対する患者の意識の向上などにより人体への手術侵襲をできる限り少なくする低侵襲治療が主流となりつつある。「低侵襲手術」とは、今までは手術時間が短いことや手術による出血量が少ないと解釈されていたが、現在用いられている「低侵襲」手術とは、主に皮膚切開の範囲を小さくするために内視鏡を皮膚の小切開部位から挿入しモニターを見ながら手術を行う方法(内視鏡下手術)と考えられている場合が多い。現在、開腹手術における胆石摘出術や大腸癌の摘出手術、開胸手術における心臓の冠動脈バイパス手術にいたるまでこの内視鏡下手術が盛んに行われるようになってきている¹⁾。

その反面、外科医は新しい術式に対する訓練が必要となり、既存術式の訓練に加えて内視鏡下手術の訓練という新しい術式に対する訓練を要している。この手術を指導できる外科医は未だ少なく、訓練の不足に起因すると思われる医療事故が社会問題とさえなっている²⁾。その原因の多くは外科医が既成手術法に加えて新しい手術法を修得しなければならないことにあるが、内視鏡下手術では術野映像が平面で表示されるために立体関係把握に訓練を要すること、内視鏡の可動範囲が狭く病巣周囲の把握が制限されること、内視鏡手術鉗子の可動に制限を有することなど工学技術的制限によることも少なくない。この技術的問題の抽出とそれに対する対策が必要である。このような問題点の解決にはロボット工学とバーチャルリアリティ(以下VR)技術を融合した新しい技術応用が有用であると考えている。

以下、外科領域におけるロボット技術とVR技術の融合の必要性和昨年度まで研究開発を進めてきた手術情報統合管理システムである Surgical Cockpit System(以下SCS)を中心に安全で的確な外科手術を実現するために必要としている医学側から工学側への要求要件について概説する。

2. 外科領域におけるロボットとVR技術

外科領域におけるロボット技術の応用の歴史は古い。最初に開発された分野は、脳神経外科領域の定位脳手術と呼ばれる穿刺手術や整形外科の大腿骨の人工骨頭置換術である。その後、狭心症や心筋梗塞患者への冠動脈バイパス手術におけるロボット装置が登場した。この特徴は、操作部分での外科医の手ぶれの除去機能、術野の拡大機能、マスタとスレーブの動作比の調整による微細な手術操作機能により正確な手術を可能としている。このような微細手術には心臓外科以外にも脳神経外科、眼科、形成外科、耳鼻科などの領域への応用が考えられ、手術顕微鏡下の手術の精度向上が期待できる。さらに、肉眼的に観察不能な癌の浸潤範囲の推定や傷つけてはいけない血管や神経の走行の把握、力覚ナビゲーションなど術野空間をデジタル化することで外科医の機能を拡張した手術法を生み出しつつある。

一方、ロボット工学と同様に外科手術に大きな影響を与えている工学技術にVR技術がある。人工知覚工学技術とシミュレーション工学を融合させた本概念は、1980年代の前半に誕生した。医療分野では、外科領域への仮想空間を用いた体験型シミュレータに関する応用研究が盛んに行われている。特に、眼科[1]や脳神経外科[2]や微細な血管吻合手術[3]、神経ブロック[4]、心臓の超音波検査[5]、整形外科[6]などをはじめとした多くの体験型医用シミュレータの開発研究が行われている。しかし、現在さらに精密なシミュレーションの実現を必要とされ、人体の形状のみならず弾性などの生体物性や流体力学などを統合した複数の力学モデルとそれらを統合した機能解析と高速な演算機能を有する計算機科学の医療分野での応用研究が始まっている。このような複数の物理現象を表現する状態シミュレーションの構築とその出力結果の提示にVR技術が利用されている。

このようにロボット技術とVR技術の融合により次世代の外科支援システムの開発が期待されている。

3. 手術支援システムと情報処理

3.1. 手術前の情報処理(手術計画の作成)

手術を行う上で必要となる術前の情報処理について概

要を述べる。手術を行う上で必要となる映像情報にはレントゲン検査装置、Computed Tomography (CT)装置やMagnetic Resonance Imaging (MRI)装置、Positron Emission Tomography (PET)装置、超音波検査装置等から取得される生体の透過像や断層写真や三次元再構成画像がある。

三次元再構成画像にはサーフェスレンダリング法とボリュームレンダリング法が用いられている。近年マルチスライスCTと呼ばれる0.5mm以下の幅で人体の断層像を高速撮影可能な装置が開発され、全身スキャンや高精細の三次元再構成された臓器や血管、癌などのボリュームレンダリング法を用いた立体映像処理を用いた手術前の画像診断法が主流になりつつある。これにより2mm程の病変や神経や血管の走行が把握可能となり³⁾、手術計画をたてる上で必須のものとなっている。

上記のように手術に必要な画像処理技術と性能は極めて高度となってきたが手術支援を行う上で残された最大の問題は手術操作にともなう臓器変形である。術前高精度に再構成した三次元再構成画像であっても手術操作により臓器変形をきたしたり、周囲の臓器との位置関係が変化するために正確な相互位置関係を再計算は困難である。この解決には三次元再構成モデルを手術の状況映像に対応してモデルを変形させるアルゴリズムを開発する必要があるが、今まで脳外科手術や肝臓外科手術において有限要素法が応用されてきたにも関わらず個々の症例に応じて血管や周辺臓器との癒着、臓器の弾性などが複雑に関係し正確な変形を再現することは難しいものとなっている。これと並行して研究が進んでいるのが手術中のCTやMRI検査である。手術中に画像検査を行い手術操作で変形した臓器や血管の走行など術中検査画像を基に再構成することが可能となりつつある。

3.2. 手術中実時間情報処理

通常遠隔手術で使用する情報は術野の映像情報と音響情報が中心であるが、近年遠隔手術でのマスタ・スレーブ型ロボット手術で取得できる五感に関する情報に注目が集まっている。

マスタ・スレーブ型ロボット手術の場合、術野からの情報は手術の操作にともなう術野の映像、止血を行うための電気メスの止血音、スレーブ装置からは組織の把持や移動時、針を刺入した場合のカベクトルなどの情報取得が可能となる。この情報は通常の外科医の操作を再現する上で極めて重要である。その他の情報として生体信号特に心電図モニター上の心臓波形や心拍数、血圧、尿量、体温、呼吸数などの患者生体情報が発生する。

マスタ側では、外科医のマスタ装置を操作する時の動作情報や医師の助手や手術場の看護師に対する口頭指示情報、外科医の生体信号、視点追跡情報などを取得することができる。

3.3. マスタ・スレーブ型ロボット手術の特徴

このようにマスタ・スレーブ型ロボットのマスタ・ロボットとスレーブ・ロボットをネットワークで接続し、大西洋を越え米国の外科医がフランスの患者の胆嚢摘出術も実現している。

3.3.1. 遠隔指導 (Telementor)

ロボット手術に代表されるように医療技術は日々急速に進歩している。この進歩に対応するには医療資源の最適配分を行うことが必要となる。具体的には、大学病院のように中心となる高度先進医療施設と関連病院間を情報ネットワークで結び、難しい手術や最先端の手術手技を関連病院で行う場合に大学にいる指導医が関連病院の手術指導を行うことが考えられている。指導は通常テレビ会議システムを用い指導医が大学に設置されたモニター上に写し出される関連病院の術野映像を見ながら関連病院の執刀医と会話して進めることになる。この際最も重要なことは執刀医が困っていることを如何に指導医に伝え、指導医は如何に執刀医にその解決手技を伝えるかである。会話のみで概要はわかるが言葉だけでは表現できない手技操作についてはお互いがモニター上に写った映像部位をマークしながら手技について相互理解する方法が現状ではとられている。

この指導方法は内視鏡技術を用いた手術法が導入された後飛躍的に広がっている。その理由は、内視鏡技術が導入されるまでには、手術の状況映像は通手術室の天井に設置されている無影灯と呼ばれる光源の中心に設置されたカメラを用いて撮影される場合が多かった。しかし、この方法では操作状況の映像が術者の頭や手の陰に隠れて手術を行いながら指導することは困難である。

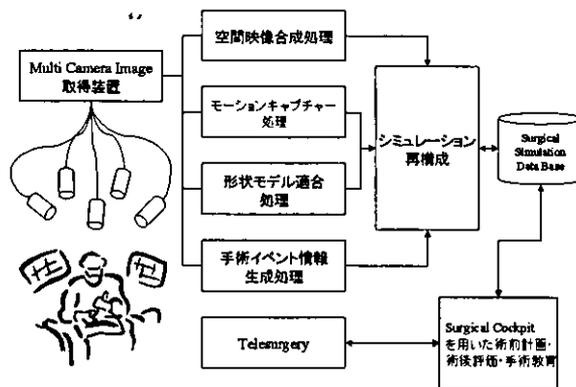


図1. 手術映像を複数カメラで取得し、その映像から手術シミュレーションを作成し Surgical Cockpit System(SCS)を用いて術前計画・術後評価・手術教育に使用するシステムの概要。

内視鏡技術を用いた手術は、内視鏡から撮影された映像をTVモニターで見ながら内視鏡手術専用の手術器具を用いるために映像信号をネットワークにのせるだけで

遠隔の指導施設までライブ映像を送ることが可能となっている。このように高価な専用回線を使用したシステムから近年では高速インターネット技術を用いた安価な病院間手術支援システムが実用化されつつある。この際問題になるのはセキュリティ技術である。個人情報保護法の対象として個人の手術映像も当然検討対象になるが、実際は術野自体が体表からは透過できないために術野の状況映像で個人を特定できる可能性は極めて少ない。映像よりもむしろ手術中の術者間や指導医との会話などの音声情報により個人を特定する情報が入っている可能性が高い。現在のセキュリティ技術で遠隔コンサルテーションを可能な技術として主に公開鍵暗号化技術が用いられている。このような Telementor にも五感特に触覚・力覚技術の応用が今後必要となりつつある。

3.3.2. 遠隔手術 (Telesurgery)

遠隔手術を実現するためには、そもそも同一空間で行っている空間を術者空間と患者空間が分離されることになる。また、両者をネットワークで接続し相互空間情報を共有させる技術を要する。この際現行の技術的制約のために執刀医の視覚・聴覚・嗅覚・触覚・力覚等に関する情報が空間の分離にもない欠落することになる。今後この情報の欠落を技術的に如何にカバーするかが遠隔医療の成功の要となる。手術操作の分離は当然ながら外科医が把持する鉗子がスレーブ・ロボットになり操作部分がマスタ・ロボットとして分離される。手術操作はマスタ・マニピレータからスレーブ・ロボットに伝達され、ネットワーク上に流れる情報は映像情報、音響情報、ロボット制御情報が現状では主である。単なる人間の眼と手の再現だけでは遠隔手術を実現することは難しく五感を用いた補間技術を要する。

しかし一方、手術手技へのマスタ・スレーブ型ロボット技術の導入は外科医が有する能力以上の情報処理を行える可能性も秘めている。その代表的なものが不可視光の可視化や微細手術における術者の手振れの補正である。マスタ側の手振れを低減しスレーブ・ロボットに伝えることでより正確な血管吻合手術を可能としている。また、外科医の手術動作スケールに対してスレーブ・ロボットの動作を小さくすることで微細な操作を行うことを可能としている⁶⁾。映像については前述したように CT や MRI など再構成した仮想臓器や血管を術野空間に投影することで肉眼的には見えない癌の広がりや血管・神経の走行を透視する技術も導入され始めている。さらに心臓外科手術においては拍動している心臓を画像処理技術を用いたあたかも静止しているように見せながら手術を行う技術開発も行われている⁵⁾。さらに顕微鏡手術において聴神経など手術器具が接触しただけで難聴になったりするような場合、そのようなことがないように接触してはいけない構造物を術野空間内に定義することで、その部位周囲に手術器具が近づくと力覚フィールドが生成させる

力覚ナビゲーションに関する研究も行われている⁶⁾。

4. Surgical Cockpit System

4.1. 手術計画支援機能

手術計画は、患者の多くの生体情報特に綿密な画像データからの情報抽出作業を基に行われる。現在では主に CT や MRI などの画像処理し、手術を正確かつ安全に行うために必要となる病巣や周囲の血管や神経との立体的な位置把握が必要となる三次元再構成モデルを作成される。その作成したモデルを基に患者の体位や皮膚切開部位を検討する。上記が可能になる前までは手術書のイラストやレントゲン写真を見ながら手術手順を症例毎に計画していった。今後は電子化された手術シナリオを編集できるソフトウェアを用いて手術の手順や症例毎の特徴、それに対する操作方法を習得することになることを想定している。

このように近年多くの手術の術前計画にコンピュータ画像処理技術が用いられるようになった。特に、整形外科分野でのロボット手術を行う上での手術計画や脳神経外科の腫瘍摘出手術の計画に利用されている。これらは CT や MR 画像を立体展開映像として正面、側面、上方図のように提示しながら切開位置や摘出範囲を表示する機能が主体である。今後 Virtual Reality (以下 VR) 技術を用いたあたかも実際の手術をおこなっているかのように立体的に術野を提示できるような体験型訓練機能を SCS の中で実現していく必要がある。

4.2. 術中ナビゲーション機能⁷⁾

究極の手術ナビゲーションとは、実際の手術の状態に最も近い VR 空間を作成し、それを用いたシミュレーション体験から最も手術侵襲が少なく手術時間が短い手術法を選択し、編集した最適な手術計画に基づき VR 空間で想定した操作を実際の手術空間に合わせながら手術を行うことであると考えている。このためには限りなく実際の術野に近い現象を再現する高い現実感再現技術を要する。

ナビゲーション機能には視覚情報を用いたナビゲーションと力覚情報を用いたナビゲーション、手術全体の管理機能に分けることができる。視覚情報処理によるナビゲーションとは、VR 空間座標と現実空間の術野座標、操作するメスやハサミ、開創器などの手術器具の位置座標の実時間統合処理、手術手順に合わせた切開の位置、範囲など術前計画で設計した映像を実写映像への投影機能である。力覚ナビゲーションとは、手術映像に応じてあらかじめ手術計画の段階で定義した危険な場所や微細操作に対してマスタ側に斥力を発生させ安全な操作を支援する機能である⁶⁾。さらに、手術全体の管理機能として患者の状態の急変など状況に応じた情報を術者に警告し、手術が計画通りにいかない場合に問題となる状況をデータベースから類似検索し最適処置あるいは手技例を提示する機能が考えられる。