

employing the common object request broker architecture (CORBA) package [1,2]. CORBA uses an Object Request Broker (ORB) as the middleware that establishes a client/server relationship between objects. The client can invoke a method on the server object across a network in a transparent manner without knowing where the application servers are located, or what programming language and operating system are being used. In addition, the components of a CORBA-based system can be implemented and run independently to implement the application, and can be easily integrated into new systems. Schorr et al. reported on the application of a CORBA system to control an image-guided surgical robot, where they controlled an MRI-compatible biopsy robot by sending the control information using CORBA [3,4]. However, there have been several reports that CORBA is not always an effective, flexible, and robust technique for Internet-based robotics systems. One of the technological problems associated with CORBA is how to guarantee stable and reliable control under interference from a CORBA system. Generally, real-time software is required to control mechatronic systems, such as robots, and to develop a stable and reliable control system under limited computational resources, it is important to evaluate the overall system load imposed on the computer system. However, in the distributed modular architecture of a computer aided surgical system, where the system configuration may change depending on the clinical requirements, it is difficult to estimate the system load before the design of the system. In recent years, a master-slave manipulator system has been applied to less-invasive laparoscopic surgery [5]. In contrast to an image-guided control system, the master-slave manipulator system is a relatively slow imaging system, and it requires a higher control frequency. On the other hand, to realize safe and accurate surgical operation, the integration of a surgical navigation system employing a master-slave surgical manipulator is necessary, and for this purpose, a distributed modular architecture is desirable. Thus, it is important to design a control system that meets these two competing requirements, and we set out to resolve these two competing requirements (scalability and reliability) in our surgical robotic system. This paper describes the following system components.

1. The use of an optimized architecture consisting of two components: a dedicated system architecture and CORBA, and
2. The development of an intermediate system to resolve any interference occurring between two architectures.

The above allow a surgical robotic system to maintain a reliable performance and to integrate various systems in a transparent manner, regardless of the hardware, operating system, or programming language used.

2 System Architecture

2.1 System Overview

It is important for a system to have sufficient computational power to handle the necessary information during processing. However, even if a system has sufficient performance, in general, it cannot handle situations that occur at random.

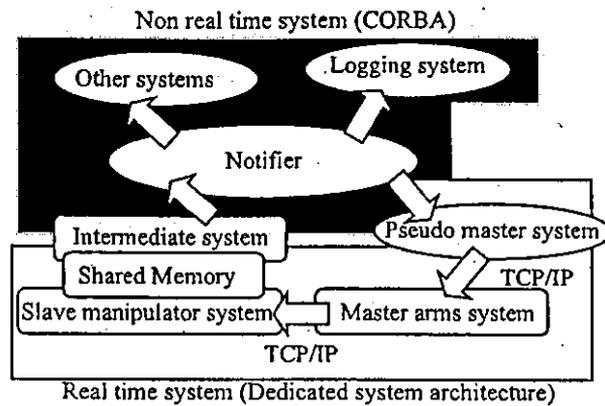


Fig. 1. System architecture

A system needs to function stably under such circumstances, and for the stable transmission of data using a CORBA-based system, the synchronous transmission of data is desirable for reliable communication among distributed objects. It is very difficult to define priorities for multiple objects connected to each other, unless the real time performance of the subsystems is well defined. In the case of a computer-aided surgery system, the configuration of the system may change, depending on the clinical requirements of specific cases. In the design of our prototype system, we prepared an intermediate system that allowed adjustments between the real time master-slave manipulator system and the CORBA-based system to be made. The system we developed consisted of a control system designed for real time control of the surgical master-slave manipulator system, a CORBA-based system that realized a distributed modular architecture, and an intermediate software system that connected these two systems (Fig. 1).

2.2 A Master-Slave Manipulator System with a Dedicated Communication System

The master-slave manipulator system consisted of a pair of master arms (MASTER) and a slave manipulator system (SLAVE). In the MASTER system (Fig. 3), an operator sits in front of a monitor showing a laparoscopic view and controls the master manipulators, using footswitches to command the SLAVE. The SLAVE system uses three slave robotic manipulators with seven degrees of freedom that include a grasping function, and an endoscope with a variable viewing angle [6,7]. The slave robotic manipulators are located on passive positioning arms for easier presetting of the manipulators before surgical operation. The position and orientation of the manipulators and the endoscope were measured using a Polaris optical positioning sensor (Northern Digital Inc., <http://www.ndigital.com>). The motion of the master arms was recognized as

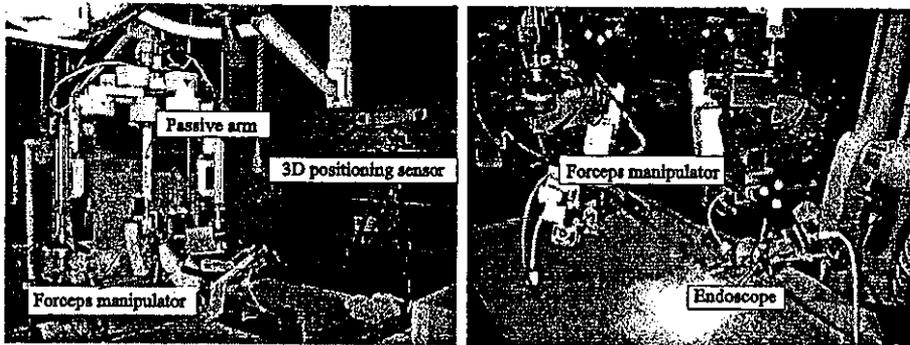


Fig. 2. Surgical slave manipulator system

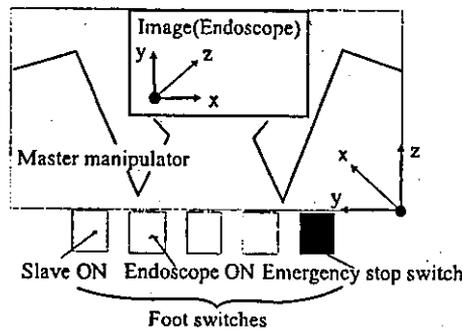


Fig. 3. Master arms system

the motion commands of the endoscope's coordinates, and this motion was transformed to the manipulator's coordinates. The required computation for the SLAVE control was conducted using a real time base. The MASTER and SLAVE were connected using a dedicated communication channel employing TCP/IP protocol. These two systems were tightly connected as a single client device and a server robot. As an alternative to the MASTER, a pseudo-MASTER could be used that could store the time series data from the master arms' motion and related control information, and could relay this data to the SLAVE. The pseudo-MASTER was also connected with the SLAVE using a dedicated communication channel, and in addition, this system was connected to the other distributed objects using CORBA. Using this pseudo-MASTER, the SLAVE could accept motion commands from the other objects using CORBA.

2.3 Common Object Request Broker Architecture (CORBA)

CORBA defines a framework for developing distributed applications. As many implementations support different operating systems, we chose the Adaptive Com-

munication Environment (ACE) and the Object Request Broker (TAO) developed by Washington University, USA [8]. The developed system uses a CORBA-based system to interface with the distributed objects in the system. As an example of a distributed object that could be connected to the master-slave manipulator system, we implemented a logging system that recorded time-series data for the following control information:

- Commands from the master arm system to the slave manipulator system: the position and orientation of the master-manipulators and foot switches (On and Off).
- The status of the slave manipulators: position and orientation of the slave manipulators.
- The viewing direction of the endoscope.
- The set position of the slave manipulators: The set position of each passive arm holding the slave manipulator (the three slave manipulators, endoscope, and Polaris 3-D positioning sensor).

2.4 Intermediate System

We prepared an intermediate system located between the master-slave manipulator system and the communication system using CORBA software. The intermediate system receives data from the master-slave manipulator system in an asynchronous manner by means of a shared memory. It then sends the data to the other objects using CORBA in a synchronous manner to make the communication reliable. Introduction of this intermediate system loosely connected the master-slave manipulator system and the communication system using CORBA software. It prevented any interference with the robot control system due to instantaneous decrease of the system performance caused by communication overload and communication errors. Using this intermediate system, we were able to maintain the performance of the master-slave manipulator system and ensure the reliability of the entire system while keeping connectivity to the communication system based on CORBA. The developed system is shown in Figure 4. To evaluate the system stability under operating conditions, the proposed system design was subjected to the following tests using the experimental conditions shown in Figure 4.

- Logging the system using the proposed system design.
- Carrying out the master-slave experiment using a communication rate of 100 msec.
- Using the total recorded surgical information for evaluation.

3 Results and Discussion

We implemented the system described in Section 2, shown in Figure 4, and we conducted experiments in operating the master-slave surgical manipulator

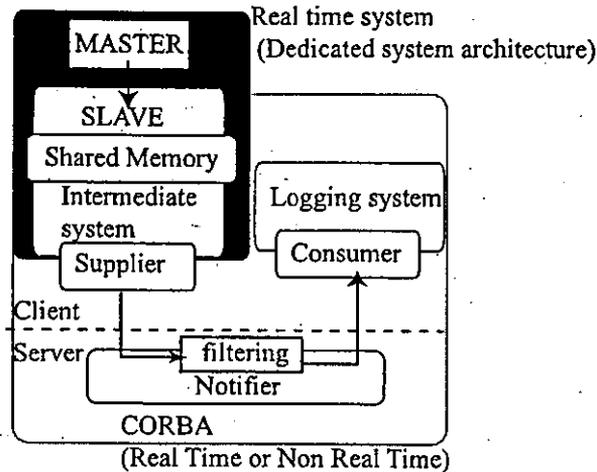


Fig. 4. System architecture in experiment

system. We also recorded the time-series data from the control data of the manipulators using CORBA in the logging system. We could successfully operate the master-slave manipulator and were able to record the control data without any problems. Figure 5 shows examples of the recorded data from the manipulator motion. Figures 5(a) and 5(b) show the position of the slave manipulator. The manipulator was only activated when the foot switch was activated. The data shows the expected behavior of the slave manipulator. Figure 5(c) shows the change in joint angle during operation. We also tested the system without the intermediate system connecting the communication system based on CORBA and the real time control system for the master-slave manipulator in place. Synchronous transmission was used in these experiments to maintain reliable communication. Under these conditions, the real time control system for the manipulator suffered from the influence of coexisting processes of the CORBA communication system, resulting in an unstable system operation. By reinserting the intermediate system, we could successfully interact with the communication processes of CORBA with real time control of the manipulator. The data stored in the logging system was also transferred to the pseudo-master system, and used to repeat the same recorded motions of the manipulator. The slave manipulator repeated the same motions in a stable manner. In the application of the system in a computer aided surgery environment, distributed objects in the system will not always be in a real time system. If we adopt a system with close connections that require a strict real time operation, such as manipulator control, then these non-real time objects can form a bottleneck that will determine the overall system performance. Schorr et al. reported the application of a CORBA-based system to control an image guided surgical robot. They controlled an MRI-compatible biopsy robot by sending its control information

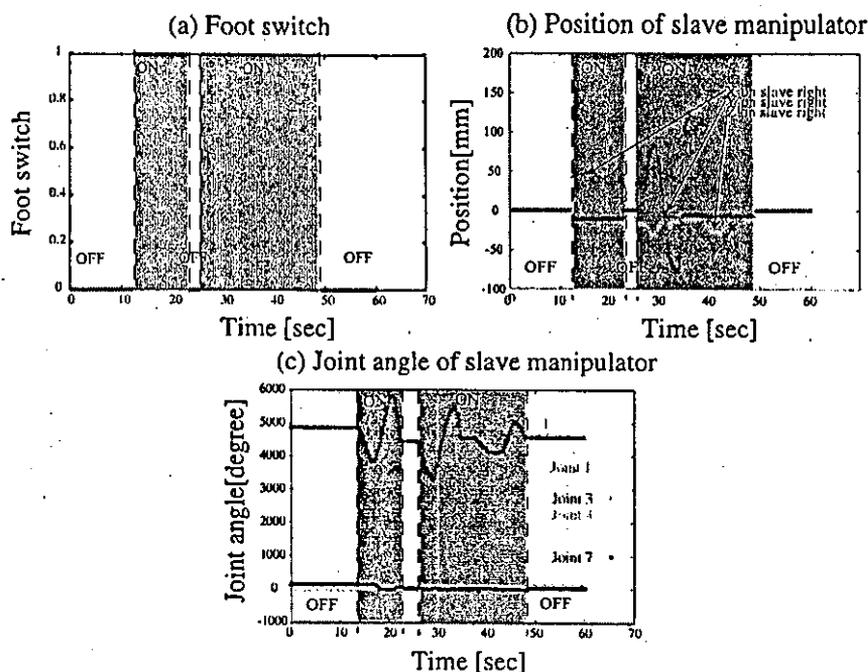


Fig. 5. Log data of logging system; (a) Foot switch, (b) Position of the slave manipulator, (c) Each joint angle of slave manipulator

using CORBA [3,4]. Considering the nature of an MRI scanner, it seems that the required bandwidth for communicating navigation data in that case is not as high as the bandwidth requirements for communicating to our master-arms and slave-manipulators or for the dynamic motion control of our robotic manipulators. Thus, it is effective to utilize CORBA as the communication interface. When we combine the master-slave manipulator system for less invasive surgery, or for a surgical navigation system or surgical simulation system, then in general, the required transmission frequency of the navigation data is not so high. On the other hand, the scalability of a system that allows for the connection of various types of intraoperative imaging devices and instrumentation with positional data is more important. From this consideration, we propose the use of the intermediate system that will compensate for differences in the required real time performance among the distributed objects, while maintaining a reliable and extendable data communication at relatively low frequency using CORBA.

4 Conclusion

We have proposed a method to resolve the two competing requirements of a surgical robotic system: scalability and reliability, and we have shown the following:

- Our system design combined real time objects, such as a master-slave manipulator control system with other non-real time objects used in a computer-aided surgical assistance system. With the proposed system design, the reliability and stability of real time systems and scalability of a CORBA-based system were realized at the same time.
- We developed an intermediate system with real time and asynchronous processing to compensate for the real time and non-real time nature of the distributed objects. This system enabled the coexistence of the dedicated system architectures required for real time processing and CORBA.
- As an example of this function, we developed a logging system for the motion control data from the manipulators and a pseudo master system for the manipulator operation. We confirmed the stable real time control of the surgical master-slave manipulator together with data communication to the other distributed objects.

In future work, we will incorporate a surgical navigation system using the master-slave surgical robotic manipulator to realize safe and accurate surgical operation of this system.

References

1. SONGMIN JIA and KUNIKATSU TAKASE. Internet-based robotic system using corba as communication architecture. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 34:121-134, 2002.
2. A.Pernozzoli, C.Burghart, J.Brief, S.Habfeld, J.Raczkowsky, J.Muhling, U.Rembold, and H.Worn. A Real-time CORBA Based System Architecture for Robot Assisted Craniofacial Surgery. In *Medicine Meets Virtual Reality 2000* J.D. Westwood et al. (Eds.) IOS Press, 2000, 2000.
3. A. Bzostek, R.Kumar, N.Hata, O. Schorr, R. Kikinis, and R. H. Taylor. Distributed Modular Computer-Integrated Surgical Robotic Systems:Implementation using modular software and network systems. In *proc, MICCAI '00*, pages 969-978, 2000.
4. Oliver Schorr, Nobuhiko Hata, Andrew Bzostek, Rajesh Kumar, Catherina Burghart, Russel H. Taylor, and Ron Kikinis. Distributed Modular Computer-Integrated Surgical Robotic Systems:Architecture for Intelligent Object Distribution. In *proc, MICCAI '00*, pages 979-987, 2000.
5. G.H.Ballantyne. Robotic surgery,telerobotic surgery,telepresence,and telerenting. In *Springer-Verlag New York Inc.*, pages 1389-1402, 2002.
6. Takashi Suzuki, Eisuke Aoki, Etsuko Kobayashi, Takayuki Tsuji, Kozo Konishi, Makoto Hashizume, and Ichiro Sakuma. Development of forceps manipulator for assisting laparoscopic surgery. In *proc of CARS*, page 1338, 2004.
7. Takemasa Hashimoto, Etsuko Kobayashi, Ichiro Sakuma, Kazuhiko Shinohara, Makoto Hashizume, and Takeyoshi Dohi. Development of wide-angle view laparoscope using wedge prisms. *Journal of Robotics and Mechatronics*, pages 129-137, 2004.
8. David Levine and Sumedh Mungee. The design and performance of real-time object request brokers. *Computer Communications*, 21, 1998.

Efficacy of 5-aminolevulinic acid-induced fluorescence detection in malignant glioma surgery

Takashi Maruyama*, Yoshihiro Muragaki, Masahiko Tanaka, Hiroshi Iseki, Ichiro Sakuma, Tomokatu Hori, Kintomo Takakura

*Tokyo Women's Medical University, Department of Neurosurgery,
8-1 Kawadacho Shinjuku, 162-8666, Tokyo, Japan*

1. Introduction

5-ALA has been used as a fluorescence detection marker for photodynamic diagnosis of malignant glioma. Using 5-ALA, fluorescence detection is compatible with image-guided tumor location in the border zone between tumor and surrounding normal brain. In this study, we analysed the sensitivity, therefore, whether or not the tissue in which MRI shows Gd-negative but fluorescence-positive containing tumor cell.

2. Methods

Patients with malignant glioma received oral doses of 5-ALA (20 mg/kg body weight) 2 h before anesthesia. After dural opening, an MR image was scanned and used for following MR navigation system. Tumor fluorescence was visualized under ultraviolet (UV) light (375–440 nm) illumination. Patients who have glioblastoma expanded next to the lateral ventricle were analysed in this study. After removing all the Gd-positive region following update navigation, the cavity was illuminated by UV light, and fluorescence-positive area were observed. Checking exact location on the updated MRI image, the tissue was collected and analyzed by confocal microscope.

3. Result

The locations of fluorescence detection were confirmed to be in agreement with Gd-enhanced region indicated by real-time navigation. Tissues from Gd-negative but fluorescence-positive region were histologically diagnosed as invasion front of the tumor. Especially, these area were mainly on the ventricle wall. Histological finding indicated the disruption of the ependymal layer of ventricle wall, fibrous change of the ependymal layer and infiltration of tumor cells and microvessels.

4. Conclusion

The 5-ALA detection can show the tumor invasion more sensitive than MRI image. Fluorescence detection using 5-ALA would be the simple and useful method to evaluate the tumor cell existence macroscopically to perform more radical tumor resection.

Acknowledgements

This is a part of "Advanced Support System for Endoscopic and Other Minimally Invasive Surgery" project of the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) for 2000–2004.

* Corresponding author. Tel.: +81-3-3353-8111; fax: +81-3-5269-7438.

E-mail address: tmaruyama@nij.twnu.ac.jp (T. Maruyama).

肝臓力学特性の実験的検討と構成式の導出

○佐久間一郎, 朱志光, 小林英津子, 陳猷, 久田俊明
 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻

Experimental study on mechanical properties of liver and its constitutive equation

I. Sakuma, C. Chui, E. Kobayashi, X. Chen, T. Hisada

Institute of Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Abstract: Uniaxial stress-strain data were obtained from in vitro experiments on 20 porcine livers for compressions, elongations and cycle of compression and then elongation. There were about 70 cylindrical samples, with diameter 7mm and varying height (4-11mm). The combined compression and elongation test provide a uniform framework for both compression and elongation for application such as computer-aided surgical simulation and model based control of interventional devices. It enables zero stress state of the experimental liver sample to be precisely determined. A new equation that combined both logarithmic and polynomial strain energy forms was proposed in modeling these experimental data. The assumption of incompressibility was justified from a preliminary Poisson's ratio measurements for elongation and compression, respectively. This equation provided a good fit for the observed mechanical properties of liver during compression-elongation cycles and for separate compression or elongations. In comparison with existing strain energy functions, this combined model was the better constitutive equation.

Key words: Liver tissue, Compression and tensile test, Non-linear elasticity, Mechanical properties, Computer aided surgery

1. はじめに

肝臓の力学特性を知ることは、コンピュータ外科における手術シミュレーションやモデルベースの治療機器制御システムの開発には重要である。

本研究の最終的な目的は変形する臓器である肝臓を対象とした手術シミュレーションシステムを構築するために求められる技術を開発することであり、肝臓の機械的特性の計測とそのモデリング技術、患者の医用画像に基づく患者臓器のモデリング技術、そしてこれらに基づいた手術機器と組織の相互作用や、組織の違いをも考慮した物理モデリング技術を開発することである。そのための基礎検討として、ブタ肝臓試験片に対する引張圧縮試験を実施し、実験結果をもとに、ブタ肝臓組織の構成式を導出した。

2. 肝臓試験片引張り圧縮試験¹⁾

肝臓の機械的特性の実験的検討では、20個のブタ肝臓から得られた70片の直径7mm高さ4-11mmの円筒状試験片に対して短軸引張圧縮試験を行った。応力ひずみ関係は非線形であった。引張圧縮を同一の試験片に加え実験を行うことによりコンピュータ外科への応用で重要となる応力0付近の特性も検討可能とした。

3. 構成式の導出と検証²⁾

材料の非線形特性を表現する構成式を、ひずみエネルギー関数 W により表現した。変形のない状態での物体点 X が変形後 x に移動したとすると、変形勾配は

$$F = \left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)^T \quad (1)$$

と与えられ、右 Cauchy-Green テンソル C 、テンソルの不変量は次のように与えられる。

$$C = F^T F \quad (2)$$

$$I = \text{trace}(C) = C_{ii}, \quad II = \text{trace}(C^2) = C_{ij}C_{ji}$$

$$III = \text{trace}(C^3) = C_{ij}C_{jk}C_{ki} \quad (2).$$

ひずみ不変量は、

$$I_1 = I, \quad I_2 = \frac{1}{2}(I^2 - II)$$

$$I_3 = \frac{1}{6}(I^3 - 3I \cdot II + 2III) = \det(C). \quad (3)$$

と与えられる。このひずみ不変量の関数として肝臓のひずみエネルギーが $W(I_1, I_2, I_3)$ として表現できるものとする。なお肝臓を等方性材料と仮定した。

λ_1 を F の固有値とすると I_1 は λ_1 の関数となる。肝臓は圧縮引張時のポアソン比の計測結果よりほぼ非圧縮性とみなせた。非圧縮性を仮定し伸び率 $\lambda = \lambda_3$ と置くと $\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_3}}$ となり、短軸引張

圧縮状態での不変量 I_1, I_2, I_3 はそれぞれ

$$I_1 = \lambda^2 + 2/\lambda, I_2 = 2\lambda + 1/\lambda^2, I_3 = 1. \quad (4)$$

となる。

変形前の円筒状肝臓試験片の断面積を A_0 とすると、試料に加わる力を F とすれば公称応力は

$$T = \frac{F}{A_0} \quad (5)$$

で表され、試料の元の長さを L_0 とすると、試料の変位量は

$$\Delta L = L_0(\lambda - 1) \quad (6)$$

で表される。これらの値は実験値として得ることができる。一方ひずみエネルギー関数 W と T の関係は

$$T = \frac{2}{\lambda} \frac{\partial W}{\partial I_1} \left(\lambda^2 - \frac{1}{\lambda} \right) + \frac{2}{\lambda} \frac{\partial W}{\partial I_2} \left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) \quad (7)$$

で与えられる。従ってひずみエネルギー関数形を仮定して推定される T と、実験結果から得られた T を比較することで肝臓試験片の変形挙動をよりよく表現する W を求めることができる。

検討の結果3つのパラメタ C_1, C_2, C_3 で表現する

$$W = \frac{-C_1}{2} \ln(1 - C_2(I_1 - 3)) + \left(\frac{C_3}{2} - \frac{C_1 C_2}{2} \right) (I_1 - 3) \quad (8)$$

という対数関数と多項式によりひずみエネルギーを表現する構成式を提案した。ひずみの大小により対数関数の寄与と多項式関数の寄与が入れ替わる。本ひずみエネルギー関数は圧縮引張の全区間にわたり肝臓試験片の非線形的な機械特性を Fig. 1 に示すように表現することが可能であった。従来報告された Mooney Rivlin モデルは9つのパラメタを持ち、提案した構成式より実験結果をよりよく再現できるが、提案した構成式が3つのパラメタのみで変形特性を記述できることから、計算効率の観点では優れている。また異なる実験結果を記述する場合に Mooney Rivlin モデルではパラメタの符号が変わることが見られ、有限要素解析の安定性に関して問題となるものと考えられたが、提案した構成式で

はそのようなことはなかった。さらに検証として提案した構成式を圧子を肝臓組織に押し込むインデントーション試験の解析に応用し、予測が可能であることを確認した。

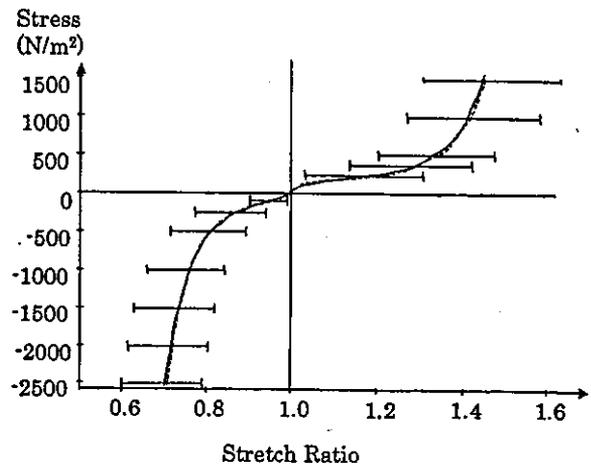


Fig. 1 Stress (T)-stretch (λ) graphs from uniaxial combined compression and elongation measurements with porcine liver tissue. There were 65 samples from 18 livers. The diameter and height of the cylindrical samples were 7 mm and 4-7 mm respectively. Loading rate was 10 mm/min. Solid and dash lines denote the mean and median values of the experiments respectively. Standard deviations from the mean values are indicated with horizontal bars.

まとめ

ブタ肝臓試験片に対する引張圧縮試験の結果を解析し、変形挙動を記述する対数関数と多項式によりひずみエネルギーを表現する構成式を提案した。本構成式は肝臓試験片の非線形的な機械特性を再現可能であった。

本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術推進事業(99I00904)、厚生労働省科学研究費補助身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業(H15-フイジ'-002)による。

文献

- 1) Sakuma, I. et al: Lecture Notes in Computer Science 2673: Surgical Simulation and Soft Tissue Modeling (In Ayache, N. and Delingette, H. ed.), pp 284-292, 2003.
- 2) Chui, C et al: Medical & Biological Engineering & Computing, in press

5-Aminolevulinic Acid 誘導による蛍光画像を用いた術中脳腫瘍同定

○清水 一秀^a, 小林 英津子^a, 丸山 隆志^b, 村垣 善浩^c, 伊関 洋^{b,c}, 佐久間 一郎^a
^a 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ^b 東京女子医科大学脳神経外科, ^c 東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究所先端工学外科分野

Intraoperative Detection of Brain Tumor by Image Acquisition and Processing based on 5-Aminolevulinic Acid-Induced Fluorescence

K. Shimizu^a, E. Kobayashi^a, T. Maruyama^b, Y. Muragaki^c, H. Iseki^{b,c}, I. Sakuma^a

^a Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

^b Department of Neurosurgery, Neurological Institute, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

^c Faculty of Advanced Techno-Surgery (FATS), Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

Abstract: An image acquisition and processing method for assisting intra-operative detection of brain tumor and its boundaries using 5-Aminolevulinic Acid(5-ALA), a tumor-marker with fluorescence, is presented in this paper. When 5-ALA was administered to a living body it turns into a fluorescent substance called ProtoporphyrinIX(PpIX) only in pathologic lesion. PpIX is excited by receiving blue light and emits red fluorescence by which we can know the existence of tumors. The fluorescence image was acquired by a high sensitive CCD camera equipped with an optical filter to eliminate reflected blue light. The image was automatically binarized with a statistic method and its edge was superimposed onto the original image to show the profile of fluorescent area. To perform an animal experiment for evaluation of the system, excessive amount of 5-ALA was administered to a pig. Although automatic detection of the boundary may contain some errors, display of multiple edge detection results under different threshold levels helps surgeon to identify the boundary.

Key words: Aminolevulinic acid, 5-ALA, ProtoporphyrinIX, Photo dynamic diagnosis, Brain tumor, CCD camera, Automatic binarization,

1. 緒言

悪性脳腫瘍の摘出手術においては、腫瘍の浸潤性により周辺組織との境界部分が不明瞭である点が問題となる。その判断は術者の経験・能力に委ねられるが、一方で神経組織は再生されないため過度の切除は脳機能を損なってしまう。腫瘍の除去率と患者の予後には密接な関係があるので、脳腫瘍の除去手術においては必要十分な領域のみの選択的な治療が理想である。そこで、腫瘍選択性をもつ物質として、血液の生合成過程での副産物である 5-Aminolevulinic Acid (5-ALA) を用いた術中腫瘍同定を行う。5-ALA は術前に患者に投与されると腫瘍細胞のみにおいて蛍光物質に変化するため、励起光を照射することで発生する蛍光により術中に治療対象部位を確認することができる¹⁾。これにより、腫瘍の取り残しを防ぎ、同時に過度の侵襲を避ける事を目的とする。本研究では術中に腫瘍の検索を行う部位において蛍光を発生させてその画像を取得し画像処理によって蛍光発生部位を術者に提示するシステムを構築した。

2. システム構成

2.0 前提

5-ALA 誘導蛍光物質 (ProtoporphyrinIX: PpIX) の生体内における吸収波長ピークは 405[nm]、発光波長ピークは 635[nm]である¹⁾。

2.1 蛍光計測装置

励起光 (半導体レーザー: 406[nm], 18[mW], Digital Stream co., Tokyo, Japan) を直接照射することで蛍光を発生させる。反射光を除去しつつ蛍光のみを輝度として捉えるため 635±5[nm] (FWHM) のバンドパスフィルタを備えた CCD カメラ (JK-TU53H/IK-TU51CU, Toshiba co., Tokyo, Japan) で画像を取得する。蛍光は微弱であるためカメラによりフレーム蓄光を行う。マクロレンズとして Micro Nikkor 105mm F2.8 (Nikon co., Tokyo, Japan) を用いる。画像は画像処理ボード IP7000 (Hitachi co., Tokyo, Japan) を通じて 512*480 [pixel] の YUV 形式で PC に取り込む。システムの概要を Fig.1 に示す。

2.2 蛍光画像解析ソフトウェア

画像の二値化とエッジ抽出を行い、元画像に重ね合わせて表示するソフトウェアを開発した。二値化の

閾値は、Y 画像のヒストグラムに対して自動閾値選定を行うことで得た²⁾。即ち、ヒストグラムを輝度値で二つのクラスに分けた際に両クラスのクラス間分散とクラス内分散の比が最大となるような閾値を求める。暗視下で励起光を照射しフィルタを通して得た蛍光画像から輪郭を抽出し、明視下での画像に重ね合わせる事で蛍光領域を提示する。

3. 実験

臨床での使用を想定し、動物実験を行った。ランドレース種のブタに 20[mg/kg]の 5-ALA を投与し 5 時間後に開頭して画像の取得を行った。ブタ脳は病的ではなく正常であるが、過剰量の投与により脳表全域に蛍光を呈するので生理条件下での実験が可能である。画像中で蛍光領域を限定するため観察用の 10[mm] 角の穴を開けた板を脳表に設置し、その上から励起光であるレーザを円形に集光させて約 59[$\mu\text{W}/\text{mm}^2$]として照射した。カメラは脳表垂直な向きに設置しており視野幅は約 20[mm]とした。明視下での画像を取得後カメラにフィルタを装着し消灯してレーザを照射しながら蛍光画像を再取得した。蛍光画像は 30 フレーム蓄光(露光時間 1[s])で撮影した。蛍光画像を Fig.2(a)に、エッジ抽出画像と明視下画像を重ね合わせた結果を Fig.2(b)に示す。また、蛍光の特性を確認するために、分光光度計(BTC111E, B&W Tek Inc. DE, USA)を用いて励起光を照射した際の脳表面の蛍光スペクトルを取得した(Fig.3)。

4. 考察

計測用の孔の中において、わずか 1[s]の蓄光により計測に十分な強度の蛍光画像を得ることが出来た。また、Fig.2(b)より、蛍光強度の強い部分が描出されており、明視下画像で位置を確認できることが分かる。画像右側上部において蛍光が弱く輪郭も侵食されているのは計測孔によって局面上の脳表に影が出来てしまったためである。Fig.3 のスペクトルは明確な 5-ALA 誘導蛍光の波形を示している。530[nm]付近に自家蛍光と見られる小さいピークが確認できるが、バンドパスフィルタの使用により蛍光のみを適切に選択できていると考えられる。しかし、正確な輪郭の決定は基準が曖昧である為に難しい。むしろ、閾値を連続的に変化させて蛍光の強度分布を表示するなど、柔軟性を持った輪郭選定アルゴリズムを検討する必要がある。尚、本方法はすでに臨床使用が始まっている内分泌外科領域での 5-ALA の応用³⁾においても有

用であると考えられ、導入を検討している。

文献

- 1) Walter Stummer, Intraoperative Detection of Malignant Gliomas by 5-Aminolevulinic Acid-induced Porphyrin Fluorescence, Neurosurgery, 42, (3), 518-526, 1998
- 2) 大津展之, 判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法, 電子通信学会論文誌, Vol.J-63D, 349-356, 1980
- 3) 清水一雄, 5-Aminolevulinic acid(5-ALA)の応用 - 内分泌頭部外科手術に有用かつ簡便な術中副甲状腺の新同定法 -, 内分泌外科, 21, (3), 2004

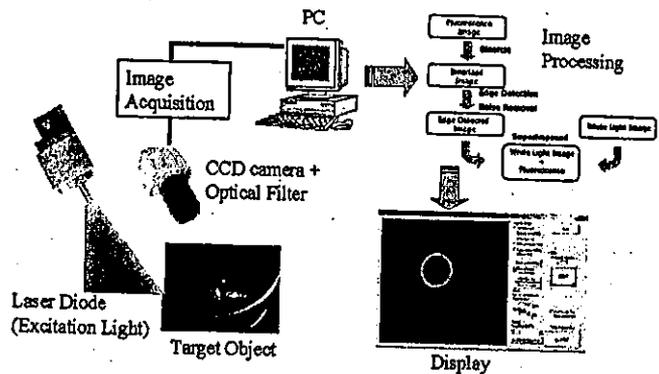


Fig.1 System overview: consisting of a laser diode as excitation light, a CCD camera with an optical filter and a PC for image processing and display

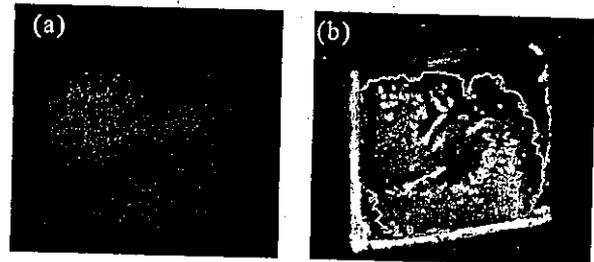


Fig.2 (a) Fluorescence image observed through an optical filter. (b) The original image under white light superimposed with the extracted edge (white line).

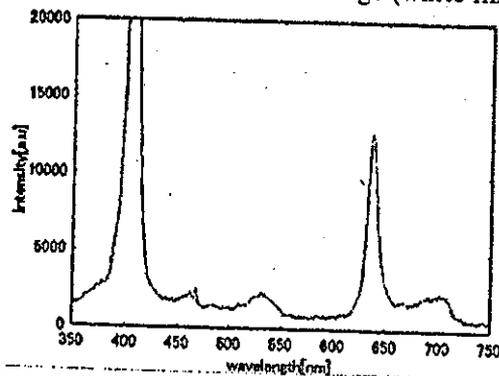


Fig.3 Spectrum from the surface of the fluorescent brain

リアルタイム非同期通信によるパフォーマンスの評価

青木 英祐¹, 鈴木 孝司¹, 小林 英津子¹, 波多 伸彦², 土肥 健純²,
小西 晃造³, 橋爪 誠³, 佐久間 一郎¹

東京大学大学院¹新領域創成科学研究科,²情報理工学系研究科,
³九州大学大学院 医学研究院 災害・救急医学

The Evaluation of system performance using a Distributed Modular Architecture by real-time asynchronous communication

¹E.Aoki, ¹T.Suzuki, ¹E.Kobayashi, ²N.Hata, ¹T.Dohi, ³K.Konishi, ³M.Hashizume, ¹I.Sakuma

¹Graduate School of Frontier Sciences, ²Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo.

³Disaster and Emergency Medicine, Graduate School of Medical Science, Kyushu University.

Abstract: As a mean of integration technology, Common Object Request Broker Architecture (CORBA) has become popular. Use of CORBA make it possible to integrate various systems in a transparent manner, regardless of the hardware, operating system, or programming language. However, there have been some problems, for example such as interference between systems on integrating various systems. To solve this problem, there is a method using asynchronous communication between systems. With this method, transferring some data between systems becomes less reliable because the communication occurs at random. Therefore, the method of solving these problems is required. In this research, we describe following two components: 1) Implementation the method of real-time asynchronous communication when each system transmits data. 2) Development of logger system for evaluation of system performance. The evaluation of system performance showed that the method was effective to keep performance on a CORBA.

Key Words: laparoscopic surgery, medical robot, master-slave system, CORBA, realtime system, system architecture

1. 背景

近年、低侵襲手術が広まるに従い、ナビゲーションシステム、ロボットマニピュレータシステム、術中・術後の事故の原因究明を行うために、術中の記録を行うシステムなど様々な術者支援システムの研究が盛んに行われており、その効果が期待されている。将来的には、これらのシステムを統合した統合支援プラットフォーム下での術者支援が望まれている。統合プラットフォームは個々のシステムから構成され、システム間の連携による術者支援が行われる。そのため、データ受け渡しの形態によっては、パフォーマンスの低下を生む恐れが生じている[1]。統合を行う技術として Common Object Request Broker Architecture System (以下 CORBA) を用いたシステムが近年盛んに研究されている[2]。CORBA を用いることで、OS やソフトウェアの変更や、接続先の変更によるネットワーク設計の変更を最小限に抑えること可能である。しかし、TCP/IP に比べて通信負荷が大きくなることや同期処理を用いたデータ受け

渡しの際に、システム間のパフォーマンスの依存関係が問題となっている。これを解決するための、非同期処理を行うシステム下で確実なデータの受け渡しを行うことは、各システムの処理がランダムであるため困難である。

そこで本研究では、腹部手術支援ロボットシステムを対象とした手術支援統合プラットフォーム下において、ロボットマニピュレータのパフォーマンスを確保しつつ、術者操作記録等のデータの収集を行う Logger の開発を行った。また、その評価としてパフォーマンスの測定実験を行ったので報告する。

2. システム構成

2.1 全体のシステム構成

全体のシステムは、マスタシステム (以下マスタ)、患者に対して手術を行うスレーブシステム (以下スレーブ)、マスタ・スレーブでの操作記録を行う Logger から構成されている。マスタとスレーブは TCP/IP による同期処理によりデータの受け渡しが行われている。また、スレーブと Logger との情報の受け渡しに、Intermediate

systemを設け、中間的にデータの受け渡しを行っている。

2.2 Intermediate system

一般的に統合システム下では、システム間に同期処理を用いることで、データの確実な受け渡しと時間の同期を取ることができるが、相互のパフォーマンスに大きく依存するため、非同期にて受け渡しを行う必要がある。通常のOS(Windows, Linuxなど)の非同期処理によるデータの受け渡しでは、すべての処理がOSに依存しているためログが落ちる場合が生じる。そのため、非同期かつ時系列にて確実にデータのストックを行うことが要求される。Intermediate systemはマスタ・スレーブ間の情報をストックする機能、リアルタイム処理により、確実に決められた周期でNotifierへ送信する機能、非同期処理によりConsumerであるLoggerへ受け渡す機能を持つ。リアルタイムOS(以下:RT)としてTimeSysLinux®(TimeSys Corporation)を利用し、CPUリソースの割り当てと周期実行により、他のタスクに依らず一定の時間間隔にてデータの送信を行うシステムを実現している。

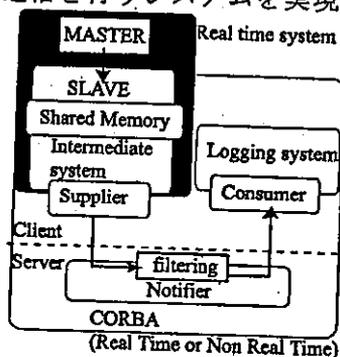


Fig.1 System image overview; Client application implements Supplier (Master, Slave system Intermediate system) or consumer module(Logger)

3. 評価実験

3.1 実験方法

Figure.1に示す実験システムを構築し、SupplierからNotifierへそしてまた、Loggerへと情報を送信した。Loggerで記録するデータとしてマスタ・スレーブにおける操作情報を時系列にて記録した。それにより、Intermediate systemのRT環境および非RT環境下の変化によるデータの比較評価を行った。パフォーマンスの基準はデータの取得が確実に行えたかどうかである。そのためLoggerで取得するログの情報の先頭に番号を割り振り、その番号が順番どおり取得できたかの評価を行った。

RT環境下での設定条件として、CPUリソースの割り当てを30[msec]の周期で60[%]割り当て、30[msec]のリアルタイム周期実行にてNotifierへのログの送信を行った。

3.3 実験結果および考察

Figure.2に示すように非RT環境ではRT環境に比べ、パフォーマンスの違いが大きく見られた。この理由として、Loggerへのデータ送信時間にばらつきが生じたことや、マルチタスク処理を行っているスレーブシステムにおいては予期せぬ他のプロセスの影響を受けたことが考えられる。この影響をCPUリソースの割り当てにより回避しパフォーマンスが大きく向上可能であることが示されている。様々なシステムが非同期にて接続される統合システム下において、データの受け渡しにリアルタイム処理を施すことで大きな効果が期待できると考えられる。

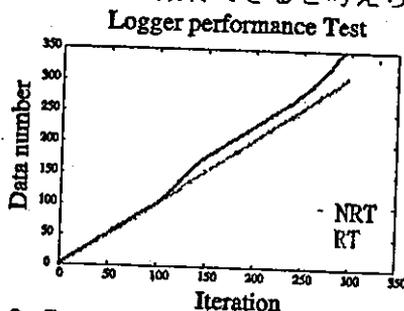


Fig.2 Comparing the performance between RT and NRT. (The vertical axis shows the recorded data number, the horizontal axis shows the loop number of system)

4. おわりに

本稿では統合プラットフォームとしてCORBAを用い、術中・術後のデータの記録を時系列に行うデータログシステムの統合を行った。また、そのパフォーマンスの評価を行ったことで、リアルタイム処理を施すことでシステム全体の性能の向上が期待できることがわかった。本研究の一部は“身体機能解析・補助・代替機器開発研究”及び“日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業外科領域を中心とする「ロボティクスシステムの開発(99I00904)」”による。

参考文献

- [1] A.pernozzoli et al: A Real-time CORBA Based System Architecture for Robot Assisted Craniofacial Surgery, Medicine Meets Virtual Reality 2000.
- [2] 八木昭彦他: CORBAを用いた異種環境統合システムの開発および評価, 第12回日本コンピュータ外科学会大会論文集, pp99-100, 2003

脳外科用レーザー手術装置のための 小型オートフォーカスシステムの開発

○ 野口 雅史^a, 青木 英祐^a, 小林 英津子^a, 大森 繁^{b/c}, 村垣 善浩^c,
伊関洋^c, 佐久間 一郎^a

^a 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ^b テルモ(株)

^c 東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究科先端工学外科

Development of a Compact Automatic Focusing System for a Neurosurgical Laser Instrument

M. Noguchi^a, E. Aoki^a, E. Kobayashi^a, S. Omori^{b/c}, Y. Muragaki^c, H. Iseki^c, I. Sakuma^a

^a Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, ^b Terumo Corporation

^c Faculty of Advanced Techno-surgery, Institute of Biomedical Engineering and Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University

Abstract: In neurosurgery such as the treatment of glioma, it is very important to remove tumor as accurately as possible. A micro laser with wavelength of 2.8 [um] is suitable to remove the tumor on the brain surface because of its strong absorption feature by water. It is necessary, however, to keep the distance between the laser probe and the target at its focal length. We had developed an automatic-focusing system using a guide laser and a CCD camera and performed some experiments for evaluation *in vitro* and an *in vivo* test on a porcine brain. They showed that accuracy of focusing largely depends on the condition of the brain surface that is very noisy and fully abundant in scattering and absorption. In this research, we evaluated focusing accuracy by changing several parameters such as the wavelength of the guide laser and the value of the threshold for binarization. The results showed that it is necessary to control adequately and dynamically the threshold, the electronic shutter speed and the power of the guide laser to realize precise focusing on the brain surface.

Key words: Neurosurgery, Laser ablation, Automatic focusing, Medical robot, Brain tumor

1. はじめに

脳腫瘍の治療において、治療後の再発を防ぐために腫瘍と正常組織の境界部を精確に除去する外科的治療法が求められている。我々は、この脳腫瘍摘出後の残存部の除去法として、腫瘍細胞を波長2.8[μm]のマイクロレーザーで蒸散させる方法を提案してきた¹⁾。このレーザーは、レーザープローブの先端と対象物の距離を、ある一定範囲内に保たなければならない。そこで、我々はガイドレーザーを用いてプローブ先端と対象面との距離を非接触で動的に測定し、プローブの位置補正を行うオートフォーカス機構の開発を行ってきた。これまで、試作機を製作し、追従性などの基本性能の評価、ブタを用いた *in vivo* での動作実験を行ってきた²⁾。しかし、*In vivo* 実験において、血液による吸収が原因となり、ガイドレーザースポットの抽出が困難になる問題が生じた。生体組織において光は、散乱、吸収により減衰する。*In vivo* 実験においても、散乱、吸収特性によってスポットの抽出が困難となったといえる。

そこで本研究では、脳の各組織を模擬したファントムに対し、ガイドレーザー波長及び、スポット抽出の

フィルタ条件に関する評価を行った。

2. フォーカシング方法

本システムでは、ガイドレーザーと計測用小型 CCD カメラを用いた変位計測法によりフォーカスを行う。対象面に照射したガイドレーザーのスポットを CCD カメラにより観察し、計測したスポット座標の変位を基にフォーカシングを行う。ガイドレーザーには波長532[nm]のレーザーダイオードを用いている。

スポットの座標は、CCD カメラにより得られた Y(輝度)UV(色差)画像を輝度値に関して2値化を行い、スポットの抽出を行った後、重心座標を算出することにより決定している。

3. 実験方法と結果

3.1 レーザー波長及びフィルタ条件評価

各異なる組織に対して、ガイドレーザーの波長、電子シャッター速度及び2値化の際の輝度閾値を変えスポットの計測を行い、各条件の評価を行った。

レーザーの波長は532[nm]と635[nm]を選定した。

出力は 0.3[mW]とした。レーザの照射対象は、大脳皮質(ブタ)、白質(ブタ)、及び血液(ラット)とした。血液に関しては、実際の手術中、脳表面に血液がたまっている状態を模擬するため、ファントム上に血液を浸し実験を行った。ファントムは、寒天に散乱体であるイントラリピッドを混ぜ、630[nm]におけるグリオーマの散乱係数 $\mu_s = 3[\text{cm}^{-1}]$ に調整したものを用いた³⁾⁴⁾。血液層の厚さは、0.25[mm]、0.5[mm]、0.75[mm]、1[mm]、1.25[mm]、1.5[mm]とした。また、ガイドレーザを対象の鉛直上から照射し、CCD カメラはそれに対し 60° の角度から観測することとした。実験は室内の蛍光灯照明下で行った。シャッター速度(1/1000, 1/2000, 1/4000, 1/10000), Y 閾値(0~250, 5ポイント刻み)を変化させ計測を行った。

結果を Fig.1 に示す。スポットが消失してしまう限界のラインを、閾値の上限値、ノイズが画面全体に現れ始めるラインを閾値の下限値とした。

大脳皮質、白質に関しては、532[nm]のレーザの場合閾値を最高(1/10000, 250)にしてもスポットの抽出は可能であった(Fig.1(b))。635[nm]レーザは532[nm]の場合よりスポット抽出が困難であった(Fig.1(c,d))。血液ファントムではスポットの強度が弱く、1/4000 以下のシャッタースピードでなればスポット抽出ができなかった... (Fig.1(a))。閾値の下限値はいずれの場合も $Y=35$ となった(Fig.1(e))。

3. 2輝度閾値とフォーカシング誤差評価

実験の際、スポットの抽出を行った後、スポットの重心座標の算出も行ったところ、輝度の閾値を低くするほど、フォーカシングの誤差が大きくなる傾向が見られた。これは、閾値を下げるほど、より組織の奥で散乱した光を検出してしまうためである。

そこで、散乱係数をそれぞれ $\mu_s = 3, 30[\text{cm}^{-1}]$ (グリオーマや血液に近い値として $3[\text{cm}^{-1}]$ 、大脳皮質や白質に近い値として $30[\text{cm}^{-1}]$ を設定)に調整したイントラリピッドのファントムを用い、輝度閾値を下げることでより生じるフォーカシングの誤差を計測した。

結果を Fig.2 に示す。横軸はスポットの面積 [pixel²]である。輝度閾値を下げると抽出されるスポットの面積も大きくなるが、この面積とフォーカシングの誤差との間に相関が見られた。散乱係数が低いほうが、誤差も大きくなることが分かった。

4. 考察及びまとめ

Fig.1 から 1/4000 以下のシャッタースピードであれば、適切な輝度閾値を設定することで、組織の状態によらずガイドレーザのスポットが抽出できる可能性が示された。また閾値が低くなるにつれ抽出されるス

ポットの面積が大きくなることで、フォーカシングに与える誤差も大きくなった。以上より、閾値を動的に変化させるといった工夫が必要であると考えられる。

本研究の一部はテルモ科学技術振興財団・文部科学省科学研究費(#15700349)による。
文献

- 1) 大森繁他. コンピュータ制御による脳外科レーザー処置の実験的検討. 第12回日本コンピュータ外科学会大会論文集 2003; 33-34
- 2) 野口雅史他. 脳腫瘍治療レーザー手術装置用オートフォーカス機構の開発 第2報. 第12回日本コンピュータ外科学会大会論文集 2003; 35-36
- 3) Sterenberg HJ et al: The spectral dependence of the optical properties of the human brain. Lasers Med Sci 4: 221-227: 1989
- 4) Van Staveren, JM Moes, Jan Van Marle, A Prahl, Van Gemert: Light scattering in Intralipid-10% in the wavelength range of 400-1100 nm. Appl. Opt. 30: 4507-4514: 1991

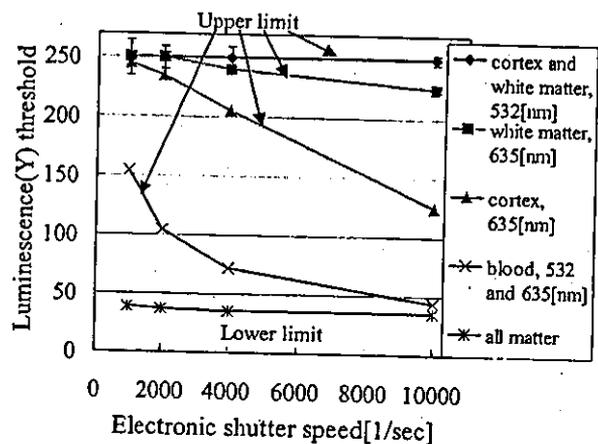


Fig.1 Upper and lower limit of each threshold

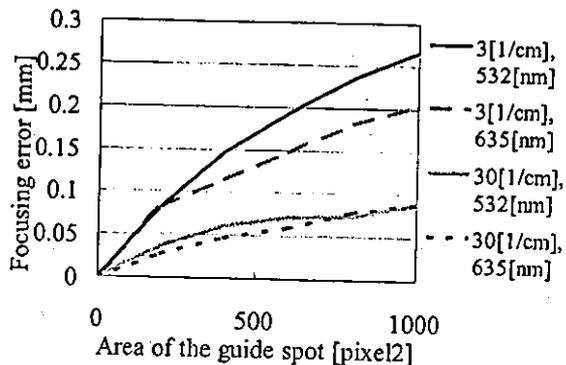


Fig.2 Relationship of the Area of the spot and focusing error

CORBA を用いたネットワーク対応型医用機器の開発と Latency 測定

古瀬慶博^{#○}・砂田文宏[#]・秋山朋之^{##}・八木昭彦^{\$1}・青木英祐^{\$2}
波多伸彦^{\$1}・佐久間一郎^{\$2}

ネットワーク接続を前提とした分散型医療機器システムの開発において、機器間のデータのやりとりを CORBA(ACE/TAO)を用いて実装した。システム結合試験が限られた制約の下、事前試験のデザインを工夫して基本的な Latency の測定を行った。それらの測定結果から、結合試験時の実効的なパフォーマンスを推定することを試みた。

Measurement of Latency for Distributed Surgical Equipment using CORBA

Nobuhiro FURUSE[#], Fumihiro SUNADA[#], Tomoyuki AKIYAMA^{##}, Akihiko YAGI^{\$1}, Eisuke AOKI^{\$2}
, Nobuhiko HATA^{\$1}, and Ichiro SAKUMA^{\$2}

In a development of a distributed surgical robots system assuming the network connection, the data communication between equipment comes to a realization using the CORBA. The high concealmentness still exists in a primary developmental stage and it might not easy to move the place to testify a connectivity of the other developmental instrument. However, backyard communication record will be important between those equipment which is carried out through the ACE+TAO Libraries. We try to estimate a total throughput performance in the system based on the measurement of Latency between the local distributed personal computers.

1. はじめに

近年の医工連携による産学協同で分散型の医療機器の研究開発が盛んに行われてきている。これらの機器開発は、ネットワーク接続を前提としており、手術支援ロボットや画像ナビゲーションシステムはその代表といえる。とりわけ、手術支援ロボットにおけるマスター装置やスレーブ装置、画像誘導装置は、サブシステムとして閉じた機能・性能要件を満たす開発であるとともに、様々な目的や複雑な使用状況を想定した組み合わせ自由度の高い開かれたシステムとして運用されることも望まれている。それぞれの装置が異なるプラットフォームで開発されることを前提に、プラットフォーム間の共通な通信手段として CORBA を利用した実装が行われた⁴⁾。

我々は、八木ら³⁾によって実装された CORBA の同期型イベントサービスをもとに、分散コール

バックのデザインパターンを適用し、装置間の通信データのログを記録する機能を開発した。ログを記録するために、装置間のデータを記録するために多くのイベントが発生する。このような同期型イベントサービスを大量に発生した場合、通信のパフォーマンスは関連する装置の使用状況や相対的な処理能力に大きく依存すると予想される。

本稿では、開発環境と総合接続環境が異なることを前提に、単体での開発段階において装置間の Latency (通信遅延時間) を測定結果について報告する。CORBA の実装にはプラットフォーム依存性はないものの、実際にはプラットフォーム依存の遅延時間の特性があることを明らかにする。さらに、最大遅延時間をもっとも小さいプラットフォームの選択により、総合接続試験の結果について触れる。

:三菱スペース・ソフトウェア(株)
##:現在、日本アドバンス・テクノロジー (株)
\$1:東京大学大学院情報理工学系研究科
\$2:東京大学大学院新領域創成科学研究科

#: Mitsubishi Space Software Co.ltd.
##: Nippon Advanced Technology Co.ltd.
\$1: Graduate school of Information Science and Technology, The University of Tokyo
\$2: Graduate school of Frontier Sciences, The University of Tokyo

2. 方法

2.1 システム概要

本システムの構成を図1に示す。スレーブロボットシステムからCORBA通信装置を経由してログ記録装置へデータを通信するシステムである。また、この図には記載されていないが、スレーブロボットは上位のマスターロボットシステムと通信可能である。

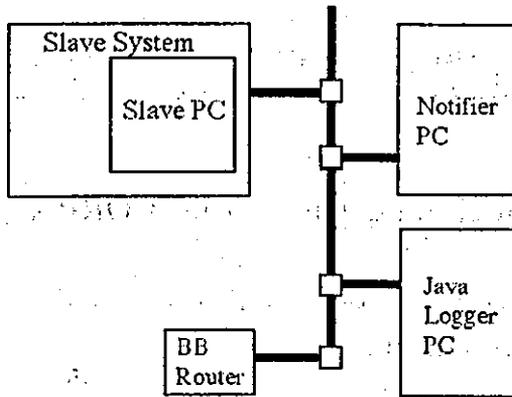


図1 システム構成概要

Fig.1 Target system configuration

2.2 イベントサービスによる通信

スレーブロボットシステムからログ記録装置へのメッセージ配信は、CORBAのPush型イベントサービスによって実装する(Schmidt)。Push型イベントサービスのモデルを図2に示す。メッセージはSupplier(スレーブロボット)のメッセージはNotifierを経由して、Consumerであるログ記憶装置へ送られる。ベースとなるCORBA通信ライブラリには、ワシントン大学²⁾で開発されているACE+TAO(ACE5.2.1+TAO1.2.1)を利用した。

2.3 システム開発における測定実験の位置づけ

スレーブロボットのシステム開発において、ログ記録装置へのメッセージ配信はシステム外へ配信機能に位置づけられる。CORBA通信部分の開発および単体試験は独立に行い、システム開発の時間を有効に利用することが通常行われる。また開発の現実の問題として、研究室等で用意されるスレーブのターゲットPCが最新の仕様で用意されるのに対して、開発環境で使用するPCは社内の共有資産であることが多く、性能はターゲット機より劣るケースが想定される。また、ターゲット機の開発段階における可搬性の制約から、開発環境で出来る限り接続時のパフォーマンスを事前評価しておくことが望ましい。加えて、CORBA

実装にはプラットフォーム依存性はないものの、Consumer-Notifier-Supplierに相当するPCのハードウェア性能およびOSに依存した通信遅延が発生すると予想される。Consumer-Notifier間のLatencyの測定によって、Consumer-Notifier-Supplierが接続された場合のトータルでの通信遅延時間の推定が可能になることを検証する。

図2 Push型イベントサービスモデル¹⁾

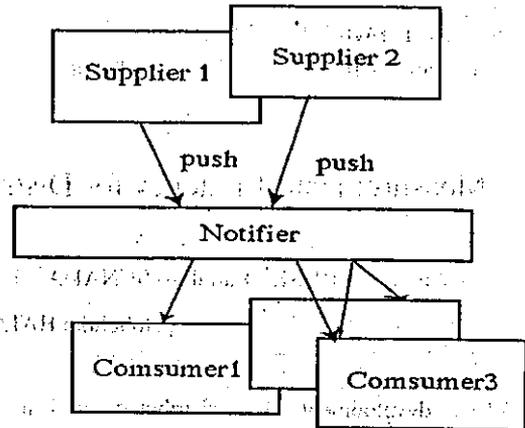


Fig.2 Event Service Model (Consumer, Notifier, and Supplier Model)

3. 測定実験と評価

3.1 試験デザイン

スレーブロボットシステムのPCハードウェア性能以下の開発用PCを利用してLatencyの測定を実施する。試験の第一目標は、Consumer-Notifierを実装した2台ないし1台のPCでLatencyの測定を行うことである(図3)。第二に、最大遅延時間が小さく安定しているOSとPCの組み合わせを明らかにすることである。第三に、スレーブロボットシステムを使用して結合試験を行い、予想した遅延時間内でログの記録が可能であることを検証する。

利用した開発PCの性能とOSを表1に示す。想定するメッセージ通信は、Supplier(スレーブロボットを想定)からNotifierに188個のdouble型データと4個のlong型整数(IEEE規格)である。これらをIDLで定義し、ACE+TAOIDLコンパイラを用いてC++のコードとして実装した。上記メッセージセットをSupplierからNotifierあてに投げたときのSupplier側で捉えた開始から受け取り完了までの時間である。1メッセージセットに対する1回のLatency時間とし、連続1000回のメッセージ送信を行い、1回あたりの最大遅延時間を評価することを試みた。なお、PCのOSはwindows/Linux

いずれも工場出荷時またはインストール時の設定の状態で使用し、プロセス実行の nice 値や windows CPU の CAS およびネットワークバッファサイズについての変更等は行わないものとした。

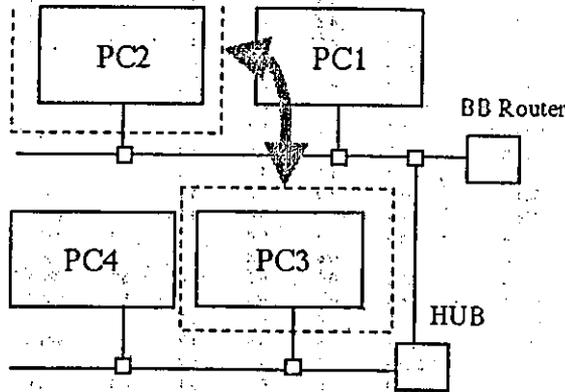


図3 Latencyの測定環境 (DHCP サブネット下の任意の2台または3台を使用した)
Fig.3 Metrics of Supplier-Notifier Latency between PCs

表1 開発PCの種類とOS
Table 1 Hardware Specification of PC and OS

350 PowerEdge Dell	Celeron	850MHz,256MB	Redhat7.3 gcc2.96
260GX Dell	Pentium 4	2.53GHz,512MB	Redhat7.3 gcc2.96
			winXP SP1
800r Dell	Pentium 3	797MHz,320MB	Redhat8.0 gcc 3.2
T240 IBM ThinkPad	Celeron	346MHz,192MB	Redhat8.0 gcc 3.2

第一ステップとして、Linux(Redhat)を実装したPC間での Latency の測定を実施した。その結果をまとめて表2に示す。第二ステップとしては、WinXPおよびRedhatをデュアルブート可能なPCを利用して、NotifierをwinXPに限定した測定をおこなった。

3.2 測定評価および考察

表2から以下の3点が指摘できる。

a) T240(IBM thinkpad)を除いて1台のPCでSupplier-Notifierを行う場合には、見かけ上中央値は小さくなるが、トータルで平均と中央値の差が大きく現れる。これは遅延時間の部分が二層構造

(bi-modal)になるためである。

b) 最大遅延時間が20msec以内(最初の1回目の通信を除けば15msec以内)のときには、Latencyの中央値は6msecとなる。T240(IBM thinkpad)のnote PCがNotifierかSupplierのいずれかの場合である。

c) T240(IBM thinkpad)以外のPC(デスクトップまたは1Uラック)では、最大遅延時間が300msecを越えるケースが現れる。

以上の結果の範囲から現象としては、T240(IBM thinkpad)最大遅延時間が最小で、中央値と平均との差が小さい(揺らぎか外れ値よる偏りがすくない)ようであることがわかった。2Ghzの260GXとの組み合わせと800Mhzの800rとの組み合わせのいずれでも同程度である。T240(IBM thinkpad)は500MHz以下の低速CPUである点を考慮すると、OSの違いでなく実装レベルでの製品での違いに関係があるのかもしれない。現時点で原因を絞り込むことは困難である。

表3からは以下の2点が明らかになった。

d) 260GX(winXP)をNotifierにした場合、上記b)の限界性能を800rがSupplierとなる場合も達成できる(10msec程度の最大遅延時間)。

e) 記録表示画面を可視状態することは、遅延時間の中央値および最大遅延時間を5倍程度大きくしてしまう。

260GXをNotifierにしたとき、winXPとRedhat7.3とのOSの違いによる遅延時間の挙動を評価することを試みた。260000回の通信で実験を行った、最大遅延時間の発生状況と形態(外れ値か否か)、平均値周辺の揺らぎの性質を見ることが目的である。その結果、winXPの場合、遅延時間が20msecを越えるのは1万回に1回程度の確率(99.999%)であることがわかった。また最大遅延時間は安定して20msec程度に押さえることができ。一方、Redhat7.3の場合には100000回を越える通信の頃から外れ値が10倍程度多く発生するようになった。また図4のように平均値周辺の揺らぎにはwinXPより大きく、連続的に発生しうるような関連性が見受けられた。

表2 Latencyの測定結果 (max,max w/o, min, ave, median, ave-med, max w/o - medの単位は msec)

Table 2 Result of Latency (msec unit for max,max w/o, min, ave, median, ave-med, max w/o)

N:Notifier, Slv:Slave Simulation(Supplier), JL:Logger with Java(Consumer), Disp:Java Logger Monitor Display, and "+*" means to implement different two function on the same PC

800r (rh8.0)	260GX (winxp)	260GX (rh7.3)	350 (rh7.3)	T240 (rh8.0)	Folder name	iterations	max w/o						
							max	min	ave	median	ave-med	max-med	
N		Slv			2004_0117_155959T	1000	580.9	580.9	3.8	4.0	4.0	0.1	540.9
N		Slv			2004_0117_160027T	1000	318.5	318.5	3.8	6.0	4.0	2.0	314.5
N		Slv			2004_0117_160045T	1000	269.1	269.1	3.7	6.0	4.0	2.1	265.1
N			Slv		2004_0117_160444T	1000	53.2	53.2	4.3	4.6	4.4	0.1	48.8
N			Slv		2004_0117_160502T	1000	7.7	5.3	4.3	4.5	4.4	0.1	0.9
N				Slv	2004_0117_160520T	1000	236.3	236.3	4.3	6.1	4.4	1.7	231.9
N				Slv	2004_0117_161030T	1000	17.9	10.5	6.1	6.6	6.3	0.3	4.2
N				Slv	2004_0117_161051T	1000	16.5	10.6	6.1	6.6	6.3	0.3	4.3
N				Slv	2004_0117_161114T	1000	15.3	11.0	6.1	6.7	6.4	0.3	4.6
N+Slv					2004_0117_161419T	1000	538.7	538.7	1.1	5.4	1.8	3.6	536.9
N+Slv					2004_0117_161438T	1000	332.5	332.5	1.1	4.9	1.8	3.1	330.7
N+Slv					2004_0117_161452T	1000	341.4	341.4	1.1	4.1	1.8	2.3	339.6
Slv	N				2004_0117_162529T	1000	301.0	301.0	3.9	5.2	4.1	1.1	296.9
Slv	N				2004_0117_162548T	1000	226.4	226.4	4.0	5.4	4.1	1.3	222.3
	N				2004_0117_162608T	1000	235.4	235.4	3.9	5.2	4.1	1.1	231.3
	N+Slv				2004_0117_162841T	1000	581.0	581.0	0.6	5.8	0.8	5.0	580.2
	N+Slv				2004_0117_162901T	1000	585.6	585.6	0.5	6.0	0.8	5.1	584.8
	N+Slv				2004_0117_162921T	1000	586.4	586.4	0.6	6.0	0.8	5.2	585.6
	N	Slv			2004_0117_162908T	1000	682.7	682.7	1.6	5.5	1.7	3.8	681.0
	N	Slv			2004_0117_162928T	1000	493.1	493.1	1.6	5.8	1.7	4.1	491.4
	N	Slv			2004_0117_162948T	1000	312.9	312.9	1.6	5.3	1.7	3.7	311.2
	N		Slv		2004_0117_163239T	1000	18.8	11.0	5.9	6.5	6.1	0.4	4.9
	N		Slv		2004_0117_163302T	1000	18.5	12.6	5.9	6.5	6.1	0.4	6.5
	N		Slv		2004_0117_163322T	1000	14.6	13.7	5.9	6.5	6.1	0.4	6.6
Slv	N				2004_0117_163800T	1000	338.2	338.2	4.4	5.8	4.7	1.3	333.5
Slv	N				2004_0117_163816T	1000	277.4	277.4	4.3	5.9	4.5	1.4	272.9
Slv	N				2004_0117_163829T	1000	371.6	371.6	4.4	6.4	4.5	1.9	367.1
	Slv	N			2004_0117_163944T	1000	447.0	447.0	1.6	5.7	1.7	4.0	445.3
	Slv	N			2004_0117_164002T	1000	390.2	390.2	1.8	5.3	1.7	3.6	387.5
	Slv	N			2004_0117_164018T	1000	308.7	308.7	1.6	4.8	1.7	3.2	307.0
	N+Slv				2004_0117_164000T	1000	356.3	356.3	1.6	4.8	2.0	2.7	354.3
	N+Slv				2004_0117_164016T	1000	325.9	325.9	1.6	4.8	2.0	2.7	323.9
	N+Slv				2004_0117_164035T	1000	330.4	330.4	1.6	4.8	2.0	2.8	328.4
	N	Slv			2004_0117_164330T	1000	25.9	25.9	6.3	8.4	6.5	1.9	19.4
	N	Slv			2004_0117_164357T	1000	413.8	413.8	6.3	10.3	6.5	3.8	407.3
	N	Slv			2004_0117_164431T	1000	23.7	23.7	6.3	8.3	6.5	1.8	17.2
Slv	N				2004_0117_164831T	1000	15.5	12.7	6.0	6.8	6.3	0.5	6.4
Slv	N				2004_0117_164846T	1000	14.4	14.4	6.0	6.9	6.3	0.6	8.1
Slv	N				2004_0117_164858T	1000	14.8	14.0	6.0	6.7	6.3	0.4	7.7
	Slv	N			2004_0117_165011T	1000	29.6	29.6	5.9	6.9	6.3	0.7	23.4
	Slv	N			2004_0117_165031T	1000	12.6	12.6	5.9	6.8	6.2	0.7	6.4
	Slv	N			2004_0117_165051T	1000	34.0	34.0	5.9	6.9	6.3	0.6	27.6
	Slv	N			2004_0117_165015T	1000	13.0	13.0	6.4	7.1	6.5	0.6	6.4
	Slv	N			2004_0117_165040T	1000	15.2	15.2	6.3	7.0	6.5	0.5	8.8
	Slv	N			2004_0117_165100T	1000	11.7	11.7	6.3	7.1	6.5	0.6	5.2
	N+Slv				2004_0117_165339T	1000	12.7	10.8	2.7	4.5	4.3	0.2	6.5
	N+Slv				2004_0117_165402T	1000	18.2	10.8	2.7	4.5	4.3	0.3	6.5
	N+Slv				2004_0117_165418T	1000	16.1	13.9	2.7	4.4	4.3	0.1	9.7

表3 主として,winXP Notifierの場合のLatencyの測定結果 (max,max w/o, min, ave, median, ave-med, max w/o - medの単位は msec)

Table 3 Result of Latency (msec unit for max,max w/o, min, ave, median, ave-med, max w/o) in case of winXP Notifier and/or with Java Logger

N:Notifier, Slv:Slave Simulation(Supplier), JL:Logger with Java(Consumer), Disp:Java Logger Monitor Display, and "+*" means to implement different two function on the same PC

800r (rh8.0)	260GX (winxp)	260GX (rh7.3)	350 (rh7.3)	T240 (rh8.0)	Folder name	iterations	max w/o						
							max	min	ave	median	ave-med	max-med	
Slv	N				2004_0221_145559T	1000	9.8	4.1	4.1	4.3	4.3	0.0	-0.2
Slv	N				2004_0221_145619T	1000	9.7	5.2	4.1	4.3	4.3	0.0	0.9
Slv	N				2004_0221_145748T	1000	10.1	5.3	4.1	4.3	4.3	0.0	0.9
Slv	JL				2004_0221_192011T	1000	75.5	75.5	8.6	21.8	17.0	4.8	53.7
Slv	JL				2004_0221_192203T	1000	62.8	62.8	8.5	10.2	8.6	1.6	52.6
Slv	JL				2004_0221_192250T	1000	13.4	13.4	8.5	8.8	8.6	0.2	4.6
N			Slv		2004_0222_035557T	1000	14.8	10.8	6.5	6.3	6.4	0.1	9.0
N			Slv		2004_0222_035640T	1000	15.5	15.5	6.1	6.5	6.4	0.1	9.0
N			Slv		2004_0222_035823T	1000	17.7	13.0	6.2	6.6	6.3	0.3	6.4
N+Disp			Slv		2004_0222_040216T	1000	93.2	93.2	6.5	8.5	6.9	1.6	84.7
N+Disp			Slv		2004_0222_040306T	1000	90.1	90.1	6.5	15.7	7.1	8.6	74.4
N+Disp			Slv		2004_0222_040343T	1000	87.3	87.3	6.6	16.1	7.2	8.9	71.2
N	JL		Slv		2004_0222_040645T	1000	90.1	90.1	6.3	12.4	7.2	5.3	77.7
N	JL		Slv		2004_0222_043117T	1000	20.6	20.6	8.6	10.4	8.8	1.6	10.2
N	JL		Slv		2004_0222_043212T	1000	20.2	20.2	8.5	10.3	8.8	1.5	9.9
N	JL		Slv		2004_0222_043300T	1000	21.6	21.6	8.6	10.4	8.8	1.6	11.2