

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌・抄録集

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H and Komori M	Interaction Model between Elastic Objects for Haptic Feedback considering Collisions of Soft tissue"	Computer Methods and Programs in Biomedicine(Elsevier Science), 2005 (To appear) Year 2004			
Nakao M, Imanishi K, Kuroda T, Oyama H	Practical haptic navigation with clickable 3D region input interface for supporting master-slave type robotic surgery	Stud Health Technol Inform ;	98	265-71.	2004
Nakao M, Kuroda T, Komori M, Oyama H, Komeda M	Physics-based preoperative approach planning using hybrid virtual bodies	Stud Health Technol Inform	98	262-4.	2004
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H, Komori M, Matsuda T	FEM-based interaction model between elastic objects for indirect palpation simulator	Stud Health Technol Inform	98	183-9	2004
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H and Yoshihara H.	Shape Perception with Friction Model for Indirect Touch	World Haptics Conference (IEEE Proceedings) 2005 (To appear)			
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H and Yoshihara H.	MVL: MedicalVR Simulation Library	Proc. Medicine Meets Virtual Reality 13	(MMVR 13)	273-276	2005.
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H and Yoshihara H	Haptic Rendering Method of Friction Forces for Indirect Shape Perception	Proc. 10th International Conference Virtual Systems of MultiMedia		232-238	2004
Matsuya S, Onogi Y, Shinohara N, Yamaguchi I, Watanabe H, Ohe K, Yamaguchi K, Nii dome T, Oyama H	Physician order entry of ultrasound examination with handheld wireless terminal	Medical Imaging 2004 PACS and Imaging Informatics,		43-51	2004.
Nakao M, Imanishi K, Kuroda T, Oyama H	Practical Haptic Navigation with Clickable 3D Region Input Interface for Supporting Master-Slave Type Robotic Surgery:	Medicine Meets Virtual Reality 12 J. D. Westwood et al. (Eds.) IOS Press,		265-271	2004.
Kuroda Y, Nakao M, Kuroda T, Oyama H, Komori M, Matsuda T.	EM-based Interaction Model between Elastic Objects for Indirect Palpation Simulator	Medicine Meets Virtual Reality 12 J. D. Westwood et al. (Eds.) IOS Press,		183-189	2004 Year 2003.
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

黒田知宏, 原田雅之, 寺田尚史, 小山博史:	共有VR型手術シミュレータの医学体験教育への適用	VR医学	Vol. 3, No. 1,	38-43	Sep 2004
黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸	高度な触診スキルの習得を目的とした摩擦力提示手法	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	370-371	2004
黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 松田哲也, 吉原博幸	MVL: 実時間医用VRシミュレーションライブラリの開発	日本バーチャルリアリティ学会 第9回大会論文集		533-536	2004
黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 小森優, 松田哲也, 吉原博幸	間接触診による形状触知VRシミュレーション	第48回システム制御情報学会研究発表講演会		367-368	2004.
松本伸哉, 今村知明, 神奈川芳行, 田島文一, 松谷司郎, 小山博史	医療における関連性分析を用いた三徴候の識別方法	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	362-363	2004.
陳俊成, 小山博史, 菅野一也, 大江和彦	伝播モデルを用いる細菌検査結果のトランザクションデータの解析に関する研究,	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	360-361	2004.
義澤宣明, 船曳淳, 小山博史	リスクコミュニケーションにおける医療情報システムの役割	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	366-367	2004.
篠原信夫, 小山博史, 松谷司郎, 大江和彦	合併症発生疑い事例の医療情報データを用いた抽出法の開発	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	358-359	2004.
阿部真吾, 向井信彦, 小杉信, 小山博史	バネモデルを基にした血管の大変形手法	第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2004 SICE	368-369	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(Sup pl.)		648-649	2004.
松谷司郎, 小山博史, 篠原信夫	医療情報処理におけるSQL-92とATSQL2の「時制」の扱いやすさの比較	医療情報学, 24(Sup pl.)		398-399	2004
義澤宣明, 船曳淳, 江崎郁子, 小山博史	患者サイドの声をめぐる最近の調査結果の傾向	医療情報学, 24(Sup pl.)		246-249	2004
藍原雅一, 小山博史	医療機関における戦略的経営支援システムの構築	医療情報学, 24(Sup pl.)		872	2004
黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 松田哲也, 吉原博幸	計状触知を可能とする弾性体を対象とした摩擦の力学レンダリング手法	日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文抄録集		373-376	2004
原田雅之, 高橋修一, 寺田尚文, 黒田知宏, 小山博史	教育用遠隔共用VR型手術シミュレータの構築	日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文抄録集		525-528	2004

黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 松田哲也, 吉原博幸	MVL:実時間医用VRシミュレーションライブラリの開発	日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文抄録集		533-536	2004
小山博史	オーダーエントリーシステムと電子カルテ	Surgery Frontier	Vol. 1 2, No .1	80-84	2005
小山博史	医療のIT化の未来	EDICAL DIGEST	Vol. 5 3, 通 巻392	53-60	2004
小山博史	臨床情報工学と生体工学	Surgery Frontier	Vol. 1 1No. 3	90-93	2004
小山博史	電子カルテとは?	日本職業・災害医学会会誌	第52 巻, 第2号	91-95	2004
小山博史	病院情報システム更新の考え方と院内体制	ITVISION	No. 5	17-19	2004
小山博史	ITと医療: 情報から知識へ	教育と医学	No. 60 7	41-48	2004
Y. Onogi, K. Ohe, M. Tanaka, A. Nozoe, T. Sakurai, M. Sato, Y. Kikuchi, T. Shinohara, H. Suzuki, S. Kaihara, Y. Setyama	Mapping Japanese Medical Terms to UMLS Metathesaurus.	MEDINFO 2004 Proceedings of the 11th World Congress on Medical Informatics		406-410	2004
大江和彦	特集 医療情報システムの最前線~相互接続運用による医療情報システムが医療のIT化を促進する~ 医療情報の標準化 個別規格の標準化から全体の標準化へ.	映像情報Medical 特集	Vol. 3 6 No. 13 (7 33)	1420-1424	2004
康永秀生、井出博生、今村知明、大江和彦	DPC制度導入は在院日数短縮のインセンティブとなるか?— 一般解を用いたシュミレーション・モデルの検討—	病院管理	2004. 4	5 (115) -17 (1 27)	2004
澄田有紀、高田真美、梁瀬鐵太郎、神代知範、大江和彦	電子カルテシステムの機能モデル表現の検討.	医療情報学, 24(Sup pl.)		532-533	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(Sup pl.)		630-631	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(Sup pl.)		648-649	2004
山口泉、田中勝弥、渡辺宏樹、大江和彦	病棟の服薬指示管理システム設計における処方オーダー情報の問題点.	医療情報学, 24(Sup pl.)		770-771	2004
岩橋佑佳、大江和彦	インシデント自由入力文からのインシデント種別の自動分類の試み.	医療情報学, 24(Sup pl.)		804-805	2004
康永秀生、井出博生、今村知明、大江和彦	DPCに基づく包括評価において在院日数短縮が病院収益に及ぼす影響?循環器疾患の場合.	医療情報学, 24(Sup pl.)		860-861	2004

高田真美、澄田有紀、梁瀬鐵太郎、神代知範、大江和彦	電子カルテ稼動病院の調査に基づくシステム機能の分析.	医療情報学, 24(Sup pl.)		1140-1141	2004
美代賢吾、藤崎聖一、大江和彦	管理会計に対応した部門マスタ関連表の作成と統一部門マスタ開発に向けた考察.	医療情報学, 24(Sup pl.)		1224-1225	2004
杉本和郎、塚田博明、佐藤律、成田和彦、美代賢吾、大江和彦	消化管造影検査及び処置行為における個別原価管理のためのシステムの導入.	医療情報学, 24(Sup pl.)		1226-1227	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(Sup pl.)		1238-1239	2004
北川陽一郎、大江和彦、渡辺宏樹、石井雅通	特定機能病院における退院時概算料金提示Webシステムの開発とその分析.	医療情報学, 24(Sup pl.)		1240-1241	2004
大江和彦	最新医学 特集 医療におけるIT 医療における情報技術-臨床医学と医療を支えるITの展望-	最新医学 特集	No. 58 (8)	7(1803)-14(1810)	2003
大江和彦	診療情報の標準化-特に標準病名集について-	日本医師会雑誌	130(7)	1087-1092	2003
小野木雄三	電子カルテとRIS・レポートの連携	新医療	31(7)	94-96	2004
小野木雄三	診療ガイドラインと臨床情報システム	Surgery Frontier	Vol.12, No.1	85-88	2005.
Yamashiro K, Kawamura N, Matsubayashi S, Dota K, Suzuki H, Mizushima H, Wakao F, Azumi N.	Telecytology in Hokkaido Island, Japan: result of primary telecytodiagnosis of routine cases	Cytopathology	15	221-227	2004
小野木雄三	UMLSを利用した日本語医学知識サポートシステム	医療情報学, 24(Sup pl.)		386-387	2004
若尾文彦	画像検査部門システムの概要と導入の考え方	IT vision	6	12-16	2004
飯沼 元、内山菜智子、村松幸男、森山紀之、立石宇貴秀、宮川国久、若尾文彦、佐竹光夫、赤須孝之	CT, MRI 検査における大腸癌の術後再発診断と新たな診断技術	早期大腸癌	8	39-144	2004
飯沼 元、内山菜智子、宮川国久、若尾文彦、立石宇貴秀、佐竹光夫、村松幸男、森山紀之	大腸癌術前における multi-detector row CT colonography の有用性	臨床放射線	49	409-418	2004
飯沼 元、富松英夫、斎藤博、村松幸男、森山紀之、宮川国久、若尾文彦	消化管造影検査におけるFPD-DR	カレントセラピー	23	17-21	2005
小出大介、山崎力	エビデンスに基づく臨床ガイドライン	臨床と薬物治療	23(1)	68-71	2004
Horstmann E, Yamamoto S, et al	Risks and Benefits of Phase 1 Oncology Trials	New Engl J Med (in press)			1991-2002

Abe M, Yamamoto S, et al	CpG island methylator phenotype is a strong determinant of poor prognosis with neuroblastomas	Cancer Research (in press).			
Hanaoka T, Yamamoto S, et al	Active and passive smoking and breast cancer risk: observational cohort study.	Int J Cancer.	34(10)	615- 619	Nov 2004 (advanced online publication)
Ishida K, Yamamoto S, et al	Phase II Study of Cisplatin and 5-Fluorouracil with Concurrent Radiotherapy in Advanced Squamous Cell Carcinoma of the Esophagus: a Japan Esophageal Oncology Group (JEOG)/Japan Clinical Oncology Group Trial (JCOG9516)	Jpn J Clin Oncol	34(10)	615- 619	2004
Sano T, Yamamoto S, et al.	Gastric cancer surgery: results of morbidity and mortality of a prospective randomized controlled trial (JCOG 9501) comparing D2 and extended para-aortic lymphadenectomy.	J Clin Oncol	22	2767-2773	2004
Sasazuki S, Yamamoto S, et al	Green tea consumption and subsequent risk of gastric cancer by subsite: the JPHC Study	Cancer Causes Control	15(5)	483-91	2004 Jun
Yamao T, Yamamoto S, et al	Phase II Study of Sequential Methotrexate and 5-Fluorouracil Chemotherapy against Peritoneal Disseminated Gastric Cancer with Malignant Ascites. A Report from the Gastrointestinal Oncology Study Group of the Japan Clinical Oncology Group, JCOG9603 Trial.	Jpn J Clin Oncol	34(6)	316- 322	2004
Yamamoto S, et al.	RESPONSE: Re: Soy, Isoflavones, and Breast Cancer Risk in Japan.	J Natl Cancer Inst	95	1881-1882.	2003
Yamamoto S, et al.	Soy, isoflavones, and Breast cancer in Japan.	J Natl Cancer Inst	95	906-913,	2003
Iwasaki M, Yamamoto S, et al.	JPHC Study Group. Background characteristics of basic health examination participants;	the JPHC Study Baseline Survey. J Epidemiol.	13(4)	216-25.	2003 Jul

Hironaka S, Yamamoto S, et al.	Nonrandomized comparison between definitive chemoradiotherapy and radical surgery in patients with T(2-3)N(any) M(0) squamous cell carcinoma of the esophagus.	Int J Radiat Oncol Biol Phys	57(2)	425-33	2003 Oct 1
Otani T, Yamamoto S, et al.	Alcohol Consumption, Smoking, and Subsequent Risk of Colorectal Cancer in Middle-aged and Elderly Japanese Men and Women:	JPHC Study. Cancer, Epidemiology, Biomarkers, and Prevention.	12	1492-1600.	2003
Watanabe H, Yamamoto S, et al.	Tumor Response to Chemotherapy: the Validity and Reproducibility of RECIST Guidelines in NSCLC Patients	Cancer Science;	94	1015-20	2003
Ishihara J, Yamamoto S, et al.	Demographics, lifestyles, health characteristics, and dietary intake among dietary supplement users in Japan	Int J Epidemiol.	32(4)	546-53	2003 Aug ;
Nashimoto A, Yamamoto S et al.	A Randomized Trial of Adjuvant Chemotherapy with Mitomycin C, 5-Fluorouracil and Cytosine arabinoside followed by Oral Fluorouracil in Serosa Negative Gastric Cancer (JCOG9206-1);	J Clin Oncol.	21	2282-2287,	2003.
Ohtsu A, Yamamoto S et al.	Randomized Phase III Trial of 5-fluorouracil Alone versus 5-fluorouracil plus Cisplatin versus Uracil and Tegafur plus Mitomycin C in Patients with Unresectable Advanced Gastric Cancer: the Japan Clinical Oncology Group Study (JCOG9205).	J Clin Oncol.	21	54-59.	2003
Ohtsu A, Yamamoto S, et al.	A phase II study of irinotecan in combination with 120-hour infusion of 5-fluorouracil in patients with metastatic colorectal carcinoma: Japan Clinical Oncology Group Study (JCOG9703)	Jpn J Clin Oncol.	33:	28-32,	2003
山本精一郎	臨床試験のデザイン	臨床腫瘍学 癌と化学療法社			2003.

Ishihara J, Sobue T, Yamamoto S, Yoshimi I, Sasaki S, Kobayashi M, Takahashi T, Itoi Y, Akabane M, Tsugane S.	Validity and Reproducibility of a Self-administered Food Frequency Questionnaire used in the 5-year Follow-up Survey of the JPHC Study Cohort II: Study Design, Participant Profile and Results in Comparison with Cohort I. :	J Epidemiol.	13(suppl)	S134-S147.	2003
石塚直樹, 山本精一郎.	大規模臨床試験成績連載	第17回「大規模臨床試験の解析の仕方」血液・免疫・腫瘍	Vol. 8 No. 3,	p84-88	2003-7
河本 博, 佐藤暁洋, 山本精一郎, 他: Cons.	メタアナリシスは「レベル1」のエビデンスか?	臨床研究・生物統計研誌.	23(1)	97-105,	2003
山本精一郎,	臨床試験のエンドポイント, 肺癌: 診断・治療の最前線, 癌の臨床	篠原出版新社	第49巻第9号		2003
Kaba H, Fukuda H, Yamamoto S, Ohashi Y.	Reliability at the National Cancer Institute-Common Toxicity Criteria version 2.	Gan To Kagaku Ryoho.	(8).	1187-92	2004
Hishiki T., Tamura T., and Oyama H. :	GenoCache: a genomics and cancer chemoprevention portal.	AMIA annual symposium, Washington DC (submitted).			Oct 22-25 2005
日紫喜光良	配列データの関連情報: 文献からの抽出と相互運用性.	国立遺伝学研究所共同研究会「生物情報資源の相互運用性	三島		2005
大久保公策, 日紫喜光良	ポストゲノム時代に高まるバイオ自然言語処理への期待:	バイオ自然言語処理最新事情 5. ゲノムデータの機械解釈. 情報処理	46(2)		2005
Nagata N, Hishiki T, et al	Cataloguing of Disease-Associated Genetic and Environmental Factors by aText-mining Approach.	ISMB/ECCB	Glasgow, UK		2004

IV. 研究成果の刊行物・別冊

高度な触診スキルの習得を目的とした摩擦力提示手法

○黒田 嘉宏¹ 中尾 恵² 黒田 知宏³ 小山 博史⁴ 吉原 博幸³

¹京都大学大学院 情報学研究科 ²京都大学大学院 医学研究科

³京都大学医学部附属病院 医療情報部 ⁴東京大学大学院 医学研究科

Haptic display of friction forces for training skills of advanced palpation

○Yoshihiro KURODA¹, Megumi NAKAO², Tomohiro KURODA³, Hiroshi OYAMA⁴, Hiroyuki YOSHIHARA³

¹Graduate School of Informatics, Kyoto University ²Graduate School of Medicine, Kyoto University

³Dept. of Medical Informatics, Kyoto University Hospital ⁴Graduate School of Medicine, University of Tokyo

Abstract: The aim of this research is to develop a simulator enabling an advanced palpation skill deciding disease level. Shape perception is significant in a situation of indirect touch for the aim. Friction forces make an important role considering a foregoing report. This paper proposes a friction model, which gives stable and proper friction forces proportional to normal forces in a situation of indirect touch. The results of experiments indicated that the proposed friction model enhanced accuracy of indirect perception of convex shape.

1. はじめに

医療における触診を対象としたシミュレータ構築が盛んに行われてきたが[1]、既存シミュレータの多くは、触診手技を繰り返し体験することで正常・異常組織の硬さを記憶し病変組織の発見技術を向上させることを目的としている。一方、病期を判定するといった、より高度な触診スキルの習得には、病変組織の発見に留まらず、病変組織の範囲を特定することが求められる。Fig.1 から分かるように、病変組織の範囲を特定するためには、対象臓器の形状を間接的に触知する必要がある。

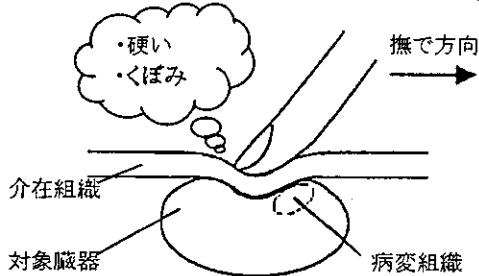


Fig.1 Shape perception by indirect touch

本研究では、病期判定スキルの向上を可能とする触診シミュレーション環境の構築を目指している。形状の間接触知シミュレーションに関する研究例は見当たらない。一方、直接物体に触れた場合の触知に関する Robles らの報告によると[2]、撫で方向の力が凹凸形状の触知に大きく寄与することが分かっている。具体的には、凹形状を撫でた際に凸形状で生じる撫で方向の力を仮想的に与えると、人は凸形状に感じるという実験結果が得られている。Robles らの実験結果を間接触知の状況に当てはめて考えると、介在組織上で生じる動摩擦力が撫で方向の力の一つとして対象臓器の形状触知に大きく寄与すると考えられる。

本稿では、形状の間接触知シミュレーション機能の向上を目的として、垂直抗力に応じた摩擦力を安定して提示可能な摩擦モデルの提案と摩擦力提示による間接触知への影響について報告する。

2. 間接触知における摩擦モデル

操作点の物体表面上の位置(以下、プロキシと呼ぶ)を履歴として保持することで安定な反力提示を実現する制約法[3]が多く用いられる。反力方向の決定には、プロキシ位置の更新方法が重要な役割を果たす。また、間接触知の状況では、プロキシの位置によってプロキシ移動量に対応する力の大きさが異なる。本研究では、制約法に基づき間接触知において安定して垂直抗力に比例した摩擦力を提示可能な手法を提案する。Fig.2 に本手法によるプロキシ位置の更新方法を示す。

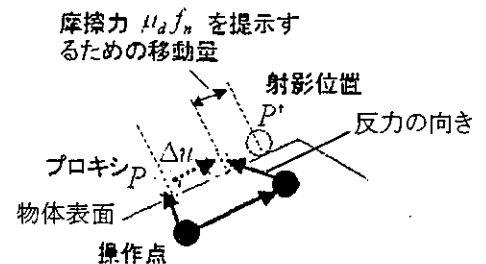


Fig.2 Update of proxy position by proposed model

プロキシの移動量 Δu は式 1,2 によって算出される。

$$state = \begin{cases} sticking & (state = sticking, f_h < \mu_s f_n) \\ sliding & (state = sticking, f_h \geq \mu_s f_n) \\ sticking & (state = sliding, f_h < \varepsilon) \\ sliding & (state = sliding, f_h \geq \varepsilon) \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta u = \begin{cases} 0 & (state = sticking) \\ \frac{1}{P_1 P_2'} - g^{-1} (\mu_d f_n) & (state = sliding) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 f_h, f_n は接触ポリゴンに対する反力の水平、垂直成分、 P は前回のプロキシ位置、 P' は操作点の物体表面への射影位置、 μ_s, μ_d は静摩擦係数、動摩擦係数、 ε は定数、 g はプロキシ移動量と力の関係式であり、前回のプロキシ移動量と力の関係から随時更新。

3. 実験

3.1 実験環境と提示反力の検証

実験に用いた仮想環境を横からみた様子をFig.3に示す。物体は全て弾性体であり、仮想球の上部で凸形状を形成し、仮想板を介して凸形状の間接触知を行う。



Fig.3 Experimental environment

実験には、Dual CPU Xeon 2.8GHz、3.0GB メモリ、PHANTOM 力覚提示デバイスを使用した。仮想物体は、球(1244 ノード、1256 ポリゴン、5320 四面体)、板(1344 ノード、2000 ポリゴン、4745 四面体)で構成される。式2における μ_s, μ_d はそれぞれ0.0, 0.40とした。

仮想板の上部を仮想球の頂点の上を通るように撫でた場合に提示される反力をFig.4に示す。

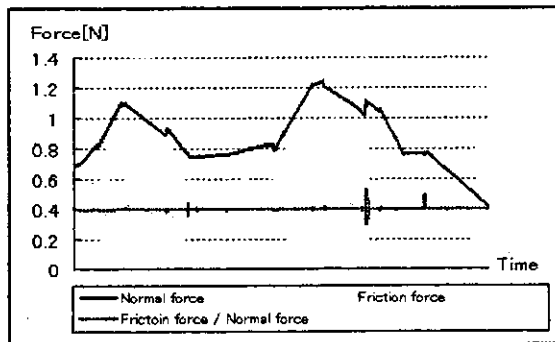


Fig.4 Friction force in case of proposed friction model

図より、摩擦力を垂直抗力で割った値が安定して約0.40を示し、意図した動摩擦係数を反映した摩擦力の提示が可能であることが示された。

3.2 摩擦モデル導入による間接形状触知への影響

摩擦モデルの導入によるヒトの間接形状触知への影響を調査するため、仮想板を介して凸形状を探し当てる実験を行った。被験者は指サック型力覚提示デバイスの使用経験が少ない5名を被験者とし、仮想物体は描画しない状態で、仮想板を介して凸形状の頂点と思われる位置を左右4回ずつ順に指定することとした。被験者が指定した位置を凸頂点位置からの誤差で評価した。評価値は、以下の式のように凸形状の半径比の割合で算出した。

$$Score = \frac{P_{select} P_{top}}{R} \quad (3)$$

ここで、 P_{select} は被験者が選択した位置、 P_{top} は凸形状の頂点、 R は球の半径である。

3.3 結果と考察

Fig.5は、摩擦なしの場合、提案手法による摩擦力ありの場合、それぞれの指定位置の分布を示している。図中の赤い球は凸形状の中心を示している。式3の評価値(平均)はそれぞれ0.37, 0.27であった。従って、提案手法を用いた場合は用いない場合に比べて、凸形状の半径比にして1割程度の触知シミュレーション機能の向上がみられた。

以上より、実験の結果、提案手法の摩擦モデルを導入することにより、凸形状の間接触知の精度向上がみられ、個体差も小さくなる傾向があるという結果が得られた。



Fig.5 Results of experiments
(a) No friction (b) Friction (Proposed model)
Score = 0.37 Score = 0.27

4. まとめ

本研究では、病期判定といった、より高度な触診スキルの向上を目的として、間接触知環境において垂直抗力に比例した摩擦力提示を可能とする摩擦モデルを提案した。実験の結果、提案手法をによって、安定した反力の提示、および凸形状の半径比で1割程度の触知シミュレーション機能の向上がみられた。今後はヒトの間接触知における操作方法の解析などを行う予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(S)「超高速体感型シミュレーションシステムの研究」(課題番号:16100001)及び若手研究(A)「臓器力学特性の高精細可視・可触化による次世代手術計画システムの開発」(課題番号:16680024)の助成による。また、本研究の一部は、21世紀COEプログラム「融合的移植再生治療を目指す国際拠点形成」の支援を受けた。

参考文献

- [1] M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori and H. Oyama: Evaluation and User Study of Haptic Simulator for Learning Palpation in Cardiovascular Surgery, International Conference of Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT), pp.203-208, 2003
- [2] G. Robles-De-La-Torre and V. Hayward: Force Can Overcome Object Geometry in the Perception of Shape through Active Touch, Nature, Vol.412, pp.445-448, 2001
- [3] C. B. Zilles and J. K. Salisbury: A constraint-based God-object method for haptic display, Proc. of IEE/RISJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Human Robot Interaction, and Cooperative Robots, Vol.3, pp.146-151, 1995

形状触知を可能とする弾性体を対象とした 摩擦の力覚レンダリング手法

Haptic Rendering of Friction with Elastic Objects for Shape Recognition

黒田嘉宏¹⁾, 中尾恵²⁾, 黒田知宏³⁾, 小山博史⁴⁾, 松田哲也¹⁾, 吉原博幸³⁾
Yoshihiro KURODA, Megumi NAKAO, Tomohiro KURODA,
Hiroschi OYAMA, Tetsuya MATSUDA and Hiroyuki YOSHIHARA

1) 京都大学大学院 情報学研究科(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, ykuroda@kuhp.kyoto-u.ac.jp)
2) 京都大学大学院 医学研究科, 3) 京都大学医学部附属病院 医療情報部, 4) 東京大学大学院 医学研究科

Abstract: The aim of our study is to develop a virtual environment where user can percept shape of elastic objects in addition of stiffness for advanced palpation simulators. Friction forces are essential for shape perception. Compared to forgoing models, which only handled rigid objects, this paper proposes a haptic rendering method for displaying friction on elastic objects. The proposed method gives stable and proper haptic forces. Results of experiments showed that the proposed model enables to display proper friction forces and to enhance haptic display for perception of convex shape.

Key Words: Haptic Rendering, Friction, Shape Recognition, Elastic Objects

1. はじめに

力覚提示デバイスの登場により、仮想物体の可触化に関する研究が盛んに行われてきた。医療 VR 分野においては、病変組織の力学特性が一般の組織の特性から変化する場が多いことから、硬さの触知訓練シミュレータが構築されてきた[1, 2]。また、臓器全体における病変組織の位置や範囲が診断上重要であるが、図1のように介在組織が存在し対象臓器を直接見ることができない場合には、硬さに加えて対象臓器の形状を触知する必要がある。

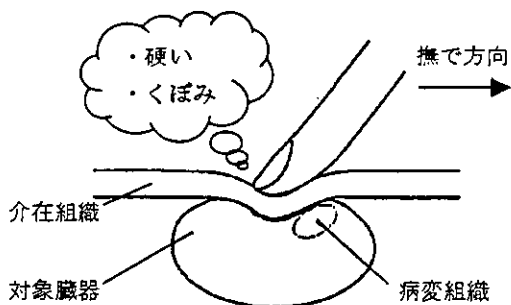


図1. 間接触診における形状触知

Robles らの報告により、ヒトの凹凸形状の知覚には撫で方向に働く力が大きく寄与することが分かっている[3]。本研究では、より現実に近い間接形状触知シミュレーションを目的として、弾性体を対象とした摩擦の力覚レンダリング手法を提案し、摩擦モデル導入による間接形状触知への

影響を調べた。

2. 関連研究

可触化に関する研究において、直接触れている物体の形状触知に関する研究の例はあるが[4]、間接的に触れている物体の形状触知に関してはほとんど報告されていない。

また、仮想物体を触った際の力覚をレンダリングする手法として God object 手法[5]がよく用いられる。Ruspini らは摩擦モデルを提案しているが[6]、弾性体を対象としていない。また、広田らは弾性体を対象としたレンダリング手法を提案しているが[7]、摩擦は考慮されていない。

3. 弾性体を対象とした摩擦の力覚レンダリング手法

3.1 弾性体を対象とした反力算出

一般的に、弾性体を対象とした反力算出法では、接触ポリゴンへの操作点の侵入量を変位量としてポリゴンを変位させたときの力に基づいて反力が算出される[7]。図2に示すように、侵入量は、操作点の物体表面上の位置(以下、プロキシと呼ぶ)から操作点への差ベクトルを用いる。このとき、フックの法則、作用・反作用の関係から、反力の向きは変位の向きとおおよそ逆向きとなる。操作点の位置は一意に決まるため、プロキシ位置の決定が反力算出において重要な役割を果たす。

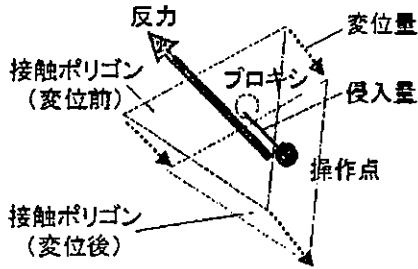


図2. プロキシの位置と反力の向き

3.2 プロキシ位置の更新

プロキシ位置の更新方法については、これまで図3のような二つの方法が提案されてきた。

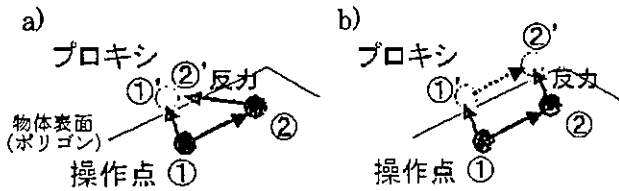


図3. 従来プロキシ位置の更新方法

- (a) 従来手法 1: プロキシを固定 (摩擦: 無限大)
- (b) 従来手法 2: 物体表面に射影した位置 (摩擦: ゼロ)

図3(a)の従来手法1は、プロキシ位置を固定する方法であり、操作点が①から②に移動した場合であってもプロキシの位置は更新されない。結果として反力は初めに仮想物体を触った位置に向かう向きに生じ、指先と仮想物体はその位置で固着した状態となる。言い換えれば、この方法は静止摩擦係数が無限大の状況をシミュレートしているといえる。図3(b)の従来手法2[7]は、操作点を物体表面に射影した位置に常にプロキシ位置を更新する方法であり、結果として反力は常に物体表面に垂直となり、ツルツルした表面を撫でるような感覚を操作者に与えることができる。この方法は、摩擦がゼロの状況をシミュレートしているといえる。

一方、現実では上記二つの手法でシミュレートされる摩擦(摩擦無限大と摩擦ゼロ)とは異なり、垂直抗力に比例した摩擦力が指先に働く。例えば、図1のように介在組織を押しながら撫で操作を行う場合、凸形状の近くで介在組織から受ける摩擦力は大きくなる。本研究では、プロキシの移動量を垂直抗力に応じて制御することにより現実に近い摩擦をシミュレートする。図4に本手法におけるプロキシ位置の更新方法を示す。

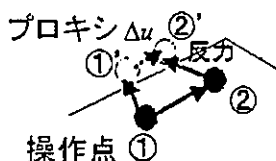


図4. 提案手法におけるプロキシ位置の更新方法

力覚ループ1回あたりのプロキシの移動量 Δu は式1.2によって算出される。

$$state = \begin{cases} static & (state = static, f_h < \mu_s f_n) \\ move & (state = static, f_h \geq \mu_s f_n) \\ static & (state = move, f_h < \epsilon) \\ move & (state = move, f_h \geq \epsilon) \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta u = \begin{cases} 0 & (state = static) \\ \frac{PP'}{1 + \alpha f_n} & (state = move) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 f_h, f_n はそれぞれ前回算出した反力の接触ポリゴンに対する水平成分と垂直成分の大きさ、 P は前回のプロキシ位置、 P' は操作点を物体表面に垂直に射影した位置(従来手法2でのプロキシ位置)、 μ_s は静止摩擦係数、 α, ϵ は定数である。

プロキシを用いた反力算出法において安定的な力覚提示を行うためには、プロキシの位置が連続的に変化することが重要である。本手法によるプロキシ移動では、 Δu は $0 \sim \overline{PP'}$ の範囲に収まるため、安定的な反力の提示が可能である。 α の値は動摩擦係数に基づいて決定される。

4. 実験

4.1 摩擦モデル導入による間接形状触知への影響

摩擦モデルの導入による間接形状触知への影響を調査するため、仮想板を介して凸形状を探し当てる実験を行った。球状の仮想物体を二つ用意し、板状の仮想物体を二つの球の上に設置する。ここで、球物体は触知対象の物体、板物体は介在物体であり、球物体の上側を凸形状として用いた。実験に用いた仮想環境の様子を図5に示す。



図5. 実験環境

- (a) 横から見た状態 (b) 上から見た状態

図5(a)は仮想板を横から見た状態を示しており、図5(b)は仮想板を透過表示した状態であり、二つの球が仮想板の向こう側に配置されている。また、各球の中心付近に位置する赤い球は各球の中心から仮想板の上側に射影した位

置を示しており、凸形状の中心である。

実験では、仮想板を介して凸形状の頂点と思われる位置を指定する施行を行い、1名の被験者につき、右の球→左の球→右の球→左の球→・・・という順で左右4回ずつ行うこととした。実験中、仮想物体は描画せず、被験者は指先の感覚を頼りに凸形状の触知を試みた。

被験者が指定した位置を赤い点(球の中心を仮想板の上側に射影した位置)からの誤差で評価した。評価値は、以下の式のように凸形状の半径比の割合で算出した。

$$Score = \frac{P_{select} P_{top}}{R} \quad (3)$$

ここで、 P_{select} は被験者が選択した位置、 P_{top} は凸形状の頂点、 R は凸形状の半径、つまり球の半径である。

実験には、Dual CPU Xeon 2.8GHz(Hyper Threading 機能使用)、3.0Gbyte メインメモリを搭載した計算機を用い、力覚提示デバイスには PHANTOM、被験者には指サック型インタフェースを装着させた。指サック型力覚提示デバイスの使用経験が少ない被験者5名に対して行った。実験に用いた仮想物体の構成要素は、球(1244 ノード、1256 ポリゴン、5320 四面体)、板(1344 ノード、2000 ポリゴン、4745 四面体)である。本実験では、式2における α 、 μ_s はそれぞれ10.0、0.0とした。

4.2 結果と考察

被験者によって指定された位置を図6に示す。

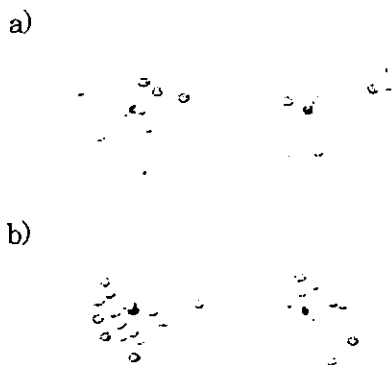


図6.実験結果

(a) 従来手法(摩擦なし) 凸半径誤差 0.40
(b) 提案手法(摩擦あり) 凸半径誤差 0.29

図6(a)は、提案モデルを用いない従来の摩擦なしの場合での指定位置の分布を示している。図6(b)は、摩擦モデルを導入した場合の指定位置の分布を示している。従来手法では式3の評価値の平均は0.40であったのに対して、提案手法では評価値の平均は0.29であった。提案手法を用いた場合は用いない場合に比べて、凸形状の半径比にして1割程度誤差が小さいという結果が得られた。また、被験者の個体差については、提案手法を用いた場合の方が小さいとい

う結果が得られた。

以上より、実験の結果、提案手法の摩擦モデルを導入することにより、凸形状の間接触知の精度向上がみられ、個体差も小さくなる傾向があるという結果が得られた。

5. おわりに

本稿は、より高度な触診シミュレーションを目的として弾性体を対象とした摩擦の力覚レンダリング手法を提案した。実験の結果、提案手法によって凸形状の間接触知において半径比にして1割程度の触知精度の向上がみられた。今後は、仮想物体のメッシュ粒度の変化による触知精度の変化や間接触知における個人差について引き続き調査を行う予定である。また、提案手法を用いた触診シミュレータの構築も併せて行う予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(S)「超高速体感型シミュレーションシステムの研究」(課題番号:16100001)及び若手研究(A)「臓器力学特性の高精細可視・可触化による次世代手術計画システムの開発」(課題番号:16680024)の助成による。また、本研究の一部は、21世紀COEプログラム「融合的移植再生治療を目指す国際拠点形成」の支援を受けた。

参考文献

- [1]黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 小森優, 松田哲也: 弾性体間相互作用モデルを応用した直腸指診VRシミュレータの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第8回大会論文集, pp.559-562, 2003.
- [2]M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori and H. Oyama: Evaluation and User Study of Haptic Simulator for Learning Palpation in Cardiovascular Surgery, International Conference of Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT), pp.203-208, 2003.
- [3]G. Robles-De-La-Torre and V. Hayward: Force Can Overcome Object Geometry in the Perception of Shape through Active Touch, Nature, Vol.412, pp.445-448, 2001.
- [4]山下樹里, 福井幸男, 森川治, 佐藤滋: 接平面近似円筒面の力覚補間提示における「なめらかさ」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.3-10, 2001.
- [5]C. B. Zilles and J. K. Salisbury: A constraint-based God-object method for haptic display, Proc. of IEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Human Robot Interaction, and Cooperative Robots, Vol.3, pp.146-151, 1995.
- [6]D. C. Ruspini, K. Kolarov, and O. Khatib: The haptic display of complex graphical environments, Proc. of ACM SIGGRAPH, pp.345-352, 1997.

[7] 広田光一, 金子豊久: 柔らかい仮想物体の力覚表現, 情

報処理学会論文誌, Vol.39, No.12, pp.3261-3268, 2004.

MVL:実時間医用 VR シミュレーションライブラリの開発

MVL: Real-time Medical Virtual Reality Simulation Library

黒田嘉宏¹⁾, 中尾恵²⁾, 黒田知宏³⁾, 小山博史⁴⁾, 松田哲也¹⁾, 吉原博幸³⁾

Yoshihiro KURODA, Megumi NAKAO, Tomohiro KURODA,
Hiroshi OYAMA, Tetsuya MATSUDA and Hiroyuki YOSHIHARA

- 1) 京都大学大学院 情報学研究科(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, ykuroda@kuhp.kyoto-u.ac.jp)
2) 京都大学大学院 医学研究科, 3) 京都大学医学部附属病院 医療情報部, 4) 東京大学大学院 医学研究科

Abstract: In the last ten years, medical VR techniques have much progress and many simulators have been developed for education, planning, rehearsal and so on. On the other hand, developing a simulator takes much labor and cost for getting knowledge of basic physics and other methods except for medical VR researcher. Aims of our study are to support developing a simulator and make its standard functions. In this paper, we propose MVL: Medical Virtual reality Library, which is a simulation library of providing simulation of medical procedures such as palpating, pushing away organs, cutting and retracting, and real-time volume rendering.

Key Words: Simulation Library, Physics-based Simulation, Surgical Simulation, Multiple Organ Interaction

1. はじめに

ここ十数年の間、医用VR技術は目覚ましい発展を遂げ、手術シミュレータをはじめ、教育、術前計画、術後予測、リハーサルなど様々な用途のシミュレータが開発されてきた[1, 2]。既に一部のシミュレータは製品化されており、欧米諸国では、教育現場や医療現場にシミュレータの導入が進められている。

医用VRシミュレータは力学に基づく軟組織の正確な変形と高精度な力覚フィードバックを大きな特徴とし、これまで様々な力学計算手法や医療手技モデルが開発されてきた[3, 4]。一方、上述の医用VR技術を用いてシミュレータを開発するためには、基礎力学や幾何学、力覚提示技術などVRシミュレーションの知識が必要とされ、開発者への負担が大きい。これに対し、一般の開発者による医用VRシミュレータの開発が容易になれば、教育・医療機関主体でのシミュレータ開発により現場へのシミュレータ導入が促進されると考えられる。

本研究では、一般の開発者による医用VRシミュレータの開発を支援するシミュレーションライブラリMVL(Medical Virtual reality Library)の開発を進めている。

本稿では、本ライブラリの設計、機能、応用例について紹介する。

2. 関連研究

2.1 仮想環境構築支援ライブラリ

WorldToolKit[5]やOpen Inventor[6]は、仮想環境構築支援

ライブラリであり、エンターテインメント、教育、データビジュアライゼーションなど幅広い分野で用いられているが、視覚提示のみを扱っており、軟組織の力学変形や反力算出などの力学シミュレーションに対応していない。GHOST[7]やImmersion Foundation Classes(IFC) SDK[8]は、可触化仮想環境の構築支援ライブラリであるが、軟組織の力学変形や反力算出には対応していない。

2.2 力学計算用ライブラリ

有限要素解析などの力学計算を行うソフトウェアは、MSC Software社のMARC[9]など数多く製品化されているが、解析処理部分が一つのソフトウェアとして存在し、自らのプログラムに組み込む形で利用できない場合が多い。一部、構造力学計算ライブラリが提供されている場合もあるが、計算時間よりも厳密性が重視される建築や土木分野での利用が想定されているため、力覚提示デバイスを介した対話操作に必要な数マイクロ秒、数ミリ秒での計算には対応していない。

2.3 医用VRシミュレーション用ライブラリ

Spring[10], GipSi[11], CAML[12]は、臓器の生理学的機能と力学的振る舞いとの関連を考慮したシミュレーションや手術器具と軟組織とのインタラクションに関するシミュレーションのフレームワークを提案しているが、触診や切開などの医療手技のシミュレーション機能をライブラリの形で提供していない。筆者らは以前、実時間力学計算ライブラリを開発したが[13]、有限要素法に基づく高速な力学計算をサポートしたのみであり、力覚提示に必要な力

覚レンダリング手法や、医療手技単位でのシミュレーション機能、複数臓器間のインタラクション等はサポートされていなかった。

3. MVL

3.1 概要

MVL は、一般の開発者が少ない労力で医用 VR シミュレータの開発を可能とするシミュレーションライブラリである。本ライブラリは、単一の臓器に対する単一の医療手技の試行に加え、複数の臓器に対する複数の医療手技の試行を可能とするシミュレータの開発を支援する。現状のライブラリで提供される機能を以下に示す。

- ・ 医療手技シミュレーション機能
(触診、圧排、切開、開創手技)
- ・ 有限要素法に基づく実時間変形・力算出
- ・ 操作点と仮想臓器とのインタラクション
- ・ 複数の仮想臓器間のインタラクション
- ・ 仮想臓器の形状描画機能
- ・ 力覚提示デバイスへの反力提示機能

本研究では、次の2点をコンセプトとするライブラリを開発した。

- ・ VR シミュレーションの知識を不要
- ・ 数行のコードで医療手技シミュレーションを可能

3.2 設計

3.2.1 VR シミュレーション

本ライブラリが実装を支援する VR シミュレーション技術を以下に挙げる。

- ・ 力学計算手法
有限要素法に基づく実時間変形・力算出法
臓器間の相互作用算出法
- ・ 力覚レンダリング手法
- ・ OpenGL[14]による仮想臓器描画
- ・ PHANToM[7]による力覚提示

触診や圧排など医療用途でのシミュレーションでは仮想臓器の高精度な変形と反力算出が重要である。本研究では、一般的に高精度な結果が得られるとされている有限要素法を採用した。一方、高速化を実現するため、物体内部の状態を物体表面に集約することで計算量を削減する Condensation 手法[4]、および、高速な力算出を可能とする 広田らの手法[15]を用いた。操作点と仮想臓器とのインタラクションの算出には、God Object 手法[16]と広田らの手法[15]を用いた。また、仮想臓器間の干渉計算はポリゴンポリゴン間の干渉検出アルゴリズム [17] に基づいて行い、相互作用は弾性体間相互作用モデル [18] を用いた。

また、グラフィック関係や力覚関係のプログラミング経験のないユーザにとって仮想臓器の描画や力覚提示のためのコーディングは大きな負担である。従って、OpenGL を用いた仮想臓器の描画、PHANToM を用いた反力提示に関して API を用意した。また、OpenGL、PHANToM 以外の API、デバイスを利用するユーザのためのより低レベル

な API も同時に用意した。

本ライブラリでは、上記の VR シミュレーション手法の全てについてモジュール化を行った。

3.2.2 医療手技シミュレーション

前節で述べたシミュレーション機能よりも上位レベルのシミュレーション機能として、本ライブラリは以下の医療手技シミュレーション機能をサポートする。

- ・ 触診手技
- ・ 圧排手技
- ・ 切開手技
- ・ 開創手技

臓器の硬さや形状を触って調べる触診手技や臓器を押しつける圧排手技のシミュレーションでは、操作点と仮想臓器との干渉を検出し、前節で述べた力学計算手法と力覚レンダリング手法によって算出された反力をユーザにフィードバックする。切開、開創手法には、中尾らの手法[19]を用いた。

本ライブラリを用いたシミュレーションでは、Object group クラスで操作点オブジェクト（仮想指）および仮想臓器オブジェクトを管理し、操作点と仮想臓器、仮想臓器間で生じるインタラクションについては全て自動で処理することとした。これによって、ライブラリのユーザは、操作点や仮想臓器オブジェクトを Object group に登録し、随時操作点の位置更新や医療手技の API を実行するのみで、各モジュールの詳細を知らなくともシミュレーションが可能である。

図1に本ライブラリのシミュレーションアーキテクチャを示す。各機能はモジュール化されており、Simulation Kernel を介して処理される。

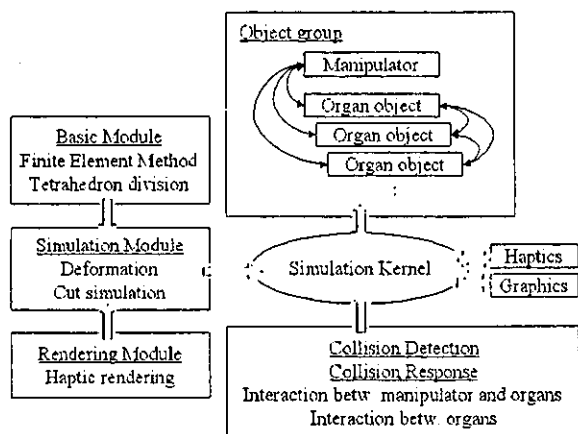


図1. アーキテクチャ

4. アプリケーション例

本ライブラリを用いて構築したアプリケーションの例を挙げる。図2は、単一臓器を対象とした触診シミュレータの例であり、大動脈データを適用することで心臓血管外科において行われる触診手技のシミュレーションが可能となる。本シミュレータのコード例を付録Aに示す。

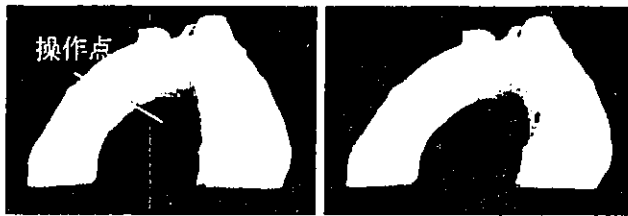


図2. 単一臓器を対象とした触診シミュレータ

図3は、複数臓器を対象とした触診シミュレータの例であり、直腸データと前立腺データを適用することで、直腸の内側から直腸の壁を介して前立腺を間接的に押した場合の力覚シミュレーションが可能となる。本シミュレータのコード例を付録Bに示す。

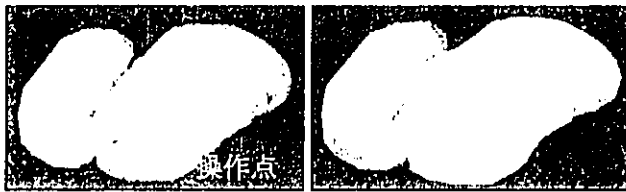


図3. 複数臓器を対象とした触診シミュレータ
(間接触診シミュレータ)

図4は、体表、肺、腎臓、脾臓、膵臓など複数の臓器に対して、切開、開削、圧排、触診など複数の医療手技シミュレーションを行った例であり、本シミュレータによって、人体深部に位置する胸腹部大動脈を対象とした手術シミュレーションが可能となる。本シミュレータのコード例を付録Cに示す。

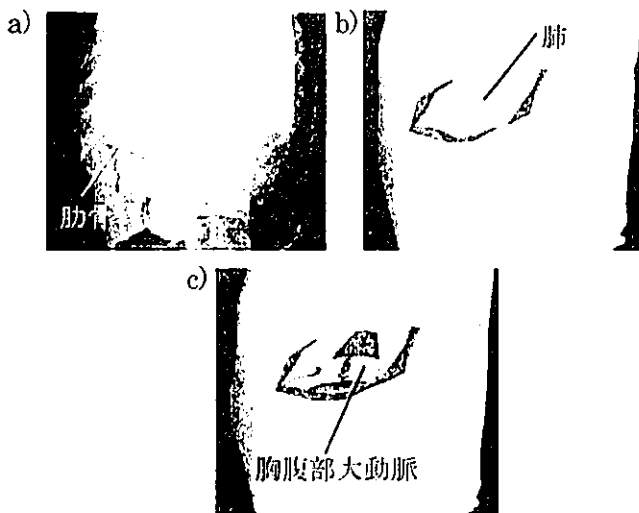


図4. 複数の医療手技を含む手術シミュレータ
a) シミュレーション前(左背側を透過表示)
b) 肋骨の間を切開。肺により大動脈が見えない
c) 肺・脾臓・腎臓等の圧排により胸腹部大動脈が出現

以上の結果より、本ライブラリを用いることで、単一の臓

器に対する単一の医療手技の試行に加え、複数の臓器に対する複数の医療手技の試行が可能であることが示された。

5. おわりに

本稿では、複数の臓器に対する複数の医療手技の試行を可能とする医用VRシミュレータを、VRシミュレーションの知識をもたなくとも少ないコード量で開発可能なシミュレーションライブラリMVLについて報告した。今後、医療・教育機関やその他の分野の研究機関での活発な利用が期待される。また、今後、複数指の力覚提示デバイスを用いた五指による操作等への対応を予定している。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(S)「超高速体感型シミュレーションシステムの研究」(課題番号: 16100001) 及び 若手研究(A)「臓器力学特性の高精細可視・可触化による次世代手術計画システムの開発」(課題番号: 16680024) の助成による。また、本研究の一部は、21世紀COEプログラム「融合的移植再生治療を目指す国際拠点形成」の支援を受けた。

付録 サンプルコード

A. 単一臓器に対する触診シミュレーション

```

1 // Initial setting:
2 MVLManipulatorObject* manipulator;
3 MVLElementObject *object1;
4 MVLObjectGroup* objGr;
5 manipulator = NewManipulatorObject();
6 object1 = NewElementObject();
7 object1->ReadObjectFile("aorta.fem");
8 objGr = NewObjectGroup();
9 objGr->AddManipulatorObject(manipulator);
10 objGr->AddObject(object1);
11 manipulator->SetPosition(Sb Vector(0.0f,0.0f,0.0f));
12 objGr->StartSimulation();
13 // Every time step:
14 manipulator->SetPosition(finger_pos);

```

B. 複数臓器に対する触診 or 圧排シミュレーション

```

1 // Initial setting:
2 MVLManipulatorObject* manipulator;
3 MVLElementObject *object1, *object2;
4 MVLObjectGroup* objGr;
5 manipulator = NewManipulatorObject();
6 object1 = NewElementObject();
7 object2 = NewElementObject();
8 object1->ReadObjectFile("rectum.fem");
9 object2->ReadObjectFile("prostate.fem");
10 objGr = NewObjectGroup();
11 objGr->AddManipulatorObject(manipulator);
12 objGr->AddObject(object1);
13 objGr->AddObject(object2);
14 manipulator->SetPosition(Sb Vector(0.0f,0.0f,0.0f));
15 objGr->StartSimulation();
16 // Every time step:
17 manipulator->SetPosition(finger_pos);

```

C.複数の医療手技を含む手術シミュレーション

```

1 // Initial setting:
2 MVLManipulatorObject* manipulator;
3 MVLElementObject **object;
4 MVLElementObject *object[10];
5 MVLCutElementObject *cutObject;
6 MVLObjectGroup* objGr;
7 manipulator = NewManipulatorObject();
8 objGr = NewObjectGroup();
9 cutObject = NewCutElementObject();
10 objGr->AddManipulatorObject(manipulator);
11 for(i=0;i<10;i++){
12     object[i] = NewElementObject();
13     object[i]->ReadObjectFile(organList[i]);
14     objGr->AddObject(object[i]);
15 }
16 manipulator->SetPosition(Sb Vector(0.0f,0.0f,0.0f));
17 objGr->StartSimulation();
18 // Every time step:
19 manipulator->SetPosition(finger_pos);
20 // Event:
21 cutObject->CalculateCut(start_coord, end_coord, cut_vec);
22 cutObject->CalculateRetract(retract_value);

```

参考文献

- [1] U. Kuhnappel, H. K. Cakmak, and H. Maa : Endoscopic surgery training using virtual reality and deformable tissue simulation, *Computers & Graphics*, Vol.24, pp.671-682, 2000.
- [2] 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 小森優, 松田哲也 : 弾性体間相互作用モデルを応用した直腸指診 VR シミュレータの開発, *日本バーチャルリアリティ学会 第8回大会論文集*, pp.559-562, 2003.
- [3] H. Delingette : Toward Realistic Soft Tissue Modeling in Medical Simulation, *Proceedings of the IEEE*, Vol.86, No.3, pp.512-523, 1998.
- [4] M. Bro-Nielsen : Finite element modeling in surgery simulation, *Journal of the IEEE*, 86, No.3, pp.490-503, 1998.
- [5] WorldToolkit: <http://sense8.sierraweb.net/>
- [6] Open Inventor: <http://oss.sgi.com/projects/inventor/>
- [7] GHOST: <http://sensable.com/>
- [8] IFC SDK: <http://www.immersion.com/>
- [9] MARC: <http://www.marc.com/>
- [10] K. Montgomery, C. Bruyns, J. Brown, S. Sorkin, F. Mazzela, G. Thonier, A. Tellier, B. Lerman, A. Menon : Spring: A General Framework for Collaborative, Realtime Surgical Simulation, *Proc. of Medicine Meets Virtual Reality*, pp.296-303, 2002.
- [11] M. C. Cavusoglu, T. G. Goktekin, F. Tendick, and S. S. Sastry : GiPSi: An Open Source/Open Architecture Software Development Framework for Surgical Simulation, *Proc. of Medicine Meets Virtual Reality*, pp.46-48, 2004.
- [12] S. Cotin, D. W. Shaffer, D. A. Meglan, M. P. Ottensmeyer, P. S. Berry, and S. L. Dawson : a general framework for the development of medical simulation systems, *Proc. of SPIE*, pp.294-300, 2000.
- [13] 中尾恵, 黒田嘉宏, 黒田知宏, 小森優, 小山博史 : 実時間力学計算手法のライブラリ化と手術シミュレータの開発 ~仮想人体を用いた VR 手術シミュレーションの確立を目指して~, *画像ラボ*, Vol.14, No.9, pp.31-34, 2003.
- [14] OpenGL: <http://opengl.org/>
- [15] 広田光一, 金子豊久 : 柔らかい仮想物体の力覚表現, *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.12, pp.3261-3268, 2004.
- [16] C. B. Zilles and J. K. Salisbury : A constraint-based God-object method for haptic display, *Proc. of IEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Human Robot Interaction, and Cooperative Robots*, Vol.3, pp.146-151, 1995.
- [17] Y. Kitamura, A. Smith, H. Takemura and F. Kishino : A Real-Time Algorithm for Accurate Collision Detection for Deformable Polyhedral Objects, *MIT PRESENCE*, Vol.7, No.1, pp. 36-52, 1998.
- [18] 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 小森優, 松田哲也 : 複数臓器間の接触シミュレーションを実現する弾性体間の相互作用モデル, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.8, No.2, pp.155-162, 2003.
- [19] 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 小森優, 松田哲也, 高橋隆 : 物理特性に基づいた高精細かつ対話的な軟組織切開手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.8, pp.2255-2265, 20

4038

間接触診による形状触知 VR シミュレーション Shape Recognition of Virtual Object with Indirect Touch

¹京都大学 ²東京大学 ³滋賀医科大学 ○黒田嘉宏¹ 中尾 恵¹ 黒田知宏¹ 小山博史² 小森 優³ 松田哲也¹ 吉原博幸¹
○Yoshihiro Kuroda¹, Megumi Nakao¹, Tomohiro Kuroda¹, Hiroshi Oyama², Masaru Komori³, Tetsuya Matsuda¹, Hiroyuki Yoshihara¹
¹Kyoto University ²The University of Tokyo ³Shiga University of Medical Science

Abstract: Shape recognition with indirect touch is an important task in medical field to identify and perceive state of tissue hidden behind other tissues. For simulating indirect touch, this paper adapts FEM-based interaction model between elastic objects to collisions of tissue models in virtual environment, and finger's stroking movement is supported for shape recognition by finger assuming use of point-based haptic interface. Experiments using convex and concave primitive models and virtual prostate tissue model were conducted to verify availability of our simulation models for shape recognition with indirect touch.

1. 背景と目的

力覚提示デバイスの開発により、手術シミュレータや医療手技訓練シミュレータなど力覚提示を用いた医学教育・手術計画支援に関する研究が盛んに行われている。医療における重要な手技である触診の多くは、対象組織に直接触れることができないため、間接的に組織の硬さ・形状・温感などの性状を触知する間接触診である（図1）。直接触れている物体の力覚表現やヒトの知覚特性に関してはこれまで多くの研究がなされてきたが[1, 2, 3]、間接的な物体性状の認識、特に間接的な形状触知に関してはほとんど報告されていない。

筆者らはこれまでに間接触診シミュレーションに必要な臓器モデルの力学計算手法の開発を行い、構築した直腸指診プロトタイプシミュレータを用いて、硬さの間接触診が可能であることを確認した[4]。一方、病期の診断には硬化病変が臓器のどの位置に存在するかを知る必要があり、視覚的に対象組織を確認できない間接触診では、物体の形状を間接的に触知する必要がある。

本稿では、直腸指診シミュレータに新たに追加した臓器モデルの形状提示機能とその検証結果に関して報告する。

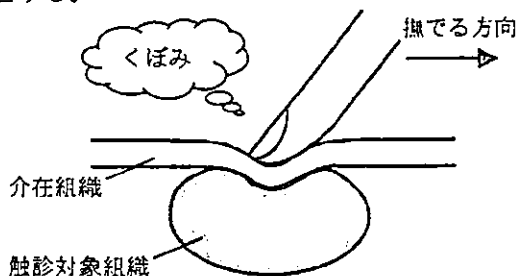


図1：間接触診による形状触知のイメージ

2. 間接触診シミュレーション手法

間接触診シミュレーションの要件を下記に挙げる。硬さ触知の場合に比べて、形状触知には3番目の要件が新たに必要となった。

1. 軟組織間の力学的相互作用の表現
2. 高精度な実時間変形と力覚提示
3. 撫で操作のサポート

直接触知とは異なり、間接触知では軟組織同士の接触によって生じる力学的な相互作用をシミュレートする必要がある。本研究では筆者らが開発した弾性体間相互作用モデル[4]を適用することで高精度な接触変形の実時間処理を可能とする。

次に本研究では、触診時の微妙な感覚の習得を可能とするシミュレーションを目的としているため、高精度な変形と力覚提示が必要とされる。また、力覚提示には高い更新周期が要求される。実時間での変形・反力計算および反力の補間には、有限要素法に基づく広田らの手法[6]を用いる。

硬さを触知する場合には、押し込み操作、つまり、指で組織を垂直に近い方向に押す操作を行うことが多い。一方、指で形状を触知する場合は、撫で操作を行うことが多い。従って、形状触知シミュレーションでは撫で操作をサポートする必要がある。汎用な物体形状に対する撫で操作を可能とするため、指先と物体表面との干渉位置の計算方法としてGod Object手法[5]を用いる。

3. 実験

直腸指診において触診対象となる前立腺はくるみ大の臓器であり、中央の溝を軸として左右対称に盛り上がった形状をもつ。従って、前立腺の表面形状を単純化すると凹凸で表現することができる。

本研究では、前実験として凹凸プリミティブの間接形状触知が可能であることを確認し、前立腺モデルの間接形状触知について検証した。実験には、Xeon 2.8GHz Dual CPU, 3Gbyte のメインメモリを搭載した計算機、および力覚提示デバイスとして SensAble 社の PHANToM Premium 1.0A を用いた。

3. 1 凹凸プリミティブの間接形状触知

本実験では、図2のように、凹形状、凸形状をもつプリミティブ仮想物体を薄い平板状の仮想物体を介して触り、間接的に形状が触知できるかどうかを試みた。

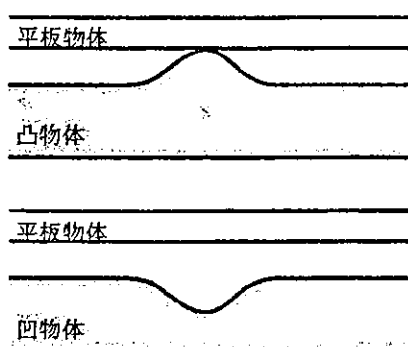


図2：凸形状（上）、凹形状（下）の間接触知

Robles らの実験により、凹凸形状の（直接）触知には、指の移動方向の抵抗力が大きく寄与していることが明らかになっている[1]。間接触知においても直接触知と同様に指移動方向の抵抗力が大きく寄与すると推測される。従って、凹凸形状の間接触知に対する指移動方向の抵抗力の影響についても調査した。

3. 2 前立腺モデルの間接形状触知

直腸指診では、医師は指を肛門に挿入し直腸壁を介して前立腺を間接的に触る。前立腺の診断において、病変の位置や範囲に関する情報は、病期ステージの違いとして診断後の治療法の選択に大きく影響する。

本実験では、前立腺の間接触診シミュレーションを行い、硬化部位の位置と範囲（上に偏在、下に偏在、上下両方、なし）をヒトが識別できるかについて調べた。図3に実験に用いた直腸モデルと前立腺モデルを示す。弾性率を周囲に比べて高く設定することによって硬化病変を表現した。

結果の詳細については発表時に述べる。

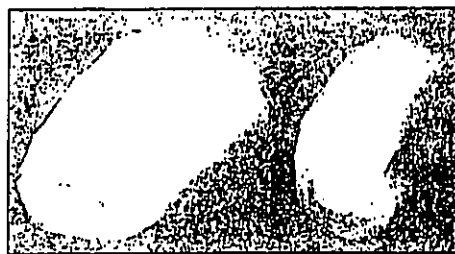


図3：直腸モデル（左）と前立腺モデル（右）

4. まとめ

本稿では、直腸指診など多くの触診で行われている間接的な形状触知のシミュレーションを目的とし、弾性体間相互作用モデルに基づく間接触診シミュレーション手法の形状触知に関する有効性を検証した。今後は、シミュレーション技術の臨床応用の促進を目的として、触診シミュレーションに必要な基礎技術の標準化やライブラリの整備などシミュレータ構築支援環境を行う予定である。

参考文献

- [1] G. Robles-De-La-Torre, et.al, "Force Can Overcome Object Geometry in the Perception of Shape through Active Touch", *Nature*, Vol.412, pp.445-448, 2001
- [2] A. M. L. Kappers, et.al, "Haptic Identification of Curved Surfaces", *Perception & Psychophysics*, Vol.56, No.1, pp.53-61, 1994
- [3] 山下ら, "接平面近似円筒面の力覚補間提示における「なめらかさ」", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.6, No.1, pp.3-10, 2001
- [4] 黒田ら, "複数臓器間の接触シミュレーションを実現する弾性体間の相互作用モデル", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.8, No.2, pp.155-162, 2003
- [5] C.B.Zilles, et.al, "A constraint-based god-object method for haptic display", *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robotics and Systems*, pp.146-151, 1995
- [6] 広田ら, "柔らかい仮想物体の力覚表現", *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.12, pp.3261-3268, 1998