

تشخیص شکل سطح سر نوزادان تازه متولد شده به روش فتوگرامتری و هم‌ترازی با پرتونگاری

نویسندگان :

J. C. Hebden ,A P. Gibson ,V. Sauret ,S. Robson ، M. Abreu de Souza

اعضای کمیته مهندسی پزشکی دانشگاه UCL لندن و گروه کاری ISPRS5

مترجم :

کارشناس اداره کل نظارت و کنترل فنی ،سازمان نقشه برداری کشور

مهندس رقیه فتحی الماس

fathi-r@ncc.org.ir

چکیده

پیشرفت توموگرافی نوری در دانشگاه UCL لندن نیازی ضروری برای ایجاد ابزاری جهت مشاهده و بررسی مغز نوزادان تازه متولد شده که از نظر مغزی در ساعات اولیه تولد یا در روزهای بعد از تولد در معرض آسیب هستند، را برانگیخته است. این آسیب که همراه با کمبود خون مناسب و یا کمبود اکسیژن بوده و می‌تواند مرگ مغزی را موجب گردد، علت اصلی ناتوانی ابدی کودکانی است که پس از مراقبت اولیه زنده می‌مانند (مخصوصاً نوزادانی که زودتر از موعد متولد می‌شوند). نتایج به دست آمده از ۳۲ کانال بررسی مختلف نشان می‌دهد که توموگرافی نوری می‌تواند یک تصویر سه بعدی تهیه کند که تغییرات مکانی و زمانی گوناگون، و عناصر فیزیولوژیکی مطلق مانند اکسیژن بافت و حجم خون را در شرایط نور طبیعی آشکار نماید.

فن آوری فوق به این که فیبرهای اصلی و دسته اشعه آشکارکننده با استفاده از کلاه پلاستیکی روی سر به هم بپیوندند، نیاز دارد. تصاویر با استفاده از یک دسته مدل غیر خطی بازسازی شده، تولید می‌شوند. گروه TOAST^۲ که توسط پروفیسور Smit Arridge و تیم او در دانشگاه UCL تشکیل شده است، عکس‌ها را به وسیله تعیین پارامترهایی که مدل مناسبی از حرکت فوتون در سر نوزاد با مقایسه نتایج آن با داده‌های اندازه‌گیری شده شرح می‌دهد، تولید می‌کند. سپس مدل به صورت مکرر سرشکن شده تا مدلی با بیشترین انطباق حاصل گردد. مدل به المان‌های محدودی از سر نوزاد جهت تطابق با هندسه واقعی آن نیاز دارد.

کلاه پلاستیکی مورد استفاده جهت هدایت امواج، ضرورتاً قابل تغییر شکل مکانیکی می‌باشد، لذا امواج به ناچار با حرکت نوزاد حرکت می‌کنند، و موقعیت‌های اندازه گرفته شده تا حدودی غیر قابل اعتماد بوده و محدود به دقت بازسازی تصاویر می‌شود. اندازه‌گیری موقعیت‌ها در طول توموگرافی نوری از آنجایی که سر نوزادان از بلند کردن قسمتی از کلاه جهت دسترسی جلوگیری می‌کند، عملی نیست. لذا دانستن موقعیت امواج نسبت به سطح سر نوزاد ضروری است. این مقاله کاربرد فتوگرامتری برد کوتاه را جهت تهیه نقشه‌ای از سطح سر یک نوزاد در کلینیک، و امکان اندازه‌گیری دقیق تر موقعیت امواج در طول توموگرافی را شرح می‌دهد. با توجه به اینکه ابزاری مشابه جهت تهیه نقشه از صورت و برای متولوژی و اندازه‌گیری دقیق استفاده شده است، در اینجا رقابت اصلی در ساختن ابزاری است که بتواند برای نوزادان تازه متولد شده که اغلب به شدت ناخوش بوده و در یک محیط کاملاً مراقبت شده نگهداری می‌شوند، به کار گرفته شود.

۱. مقدمه

۱-۱. پیش زمینه

نوزادان نارس در معرض کمبود اکسیژن در مغز هستند که می تواند به آسیب های مغزی در تمام طول عمر آنها منجر گردد. روش های جدید و قابل اطمینانی توسعه یافته است، اما یک روش عکسبرداری برای تشخیص زمان درمان و تاثیر درمان ضرورتا لازم است. در UCL، توموگرافی نوری به عنوان ابزار تهیه تصاویر سه بعدی از حجم خون و اکسیژن مغز نوزادان در رختخواب توسعه یافته است. ابزار تصویربرداری و نرم افزار بازسازی TOAST هم اکنون با موفقیت برای عکسبرداری مغز نوزادان در واحد مراقبت UCL استفاده می شود. اما پیشرفت در این کار محدود به کمبود آگاهی در مورد هندسه سر نوزاد و هم ترازوی دقیق آن در طول اخذ تصاویر از طریق توموگرافی نوری شده است. به عبارتی پر کردن این خلا و بهره برداری کامل از قابلیت های توموگرافی نوری جهت گسترش این فن با استفاده از فتوگرامتری رقومی که می تواند مختصات سه بعدی سطح را اندازه گیری کند، ضروری است. این مقاله سطوح سه بعدی جدید و تطابق با سر نوزادان را که با استفاده از ابزار فتوگرامتری، که در نهایت به صورت یک روش متداول در توموگرافی نوری جهت تهیه نقشه سر نوزادان در رختخواب و در کلینیک استفاده خواهد شد معرفی می کند.

۱-۲. روش جاری

ابزار تصویربرداری UCL زمان جهش هر کدام از فوتون ها را که به صورت پراکنده از

میان سر نوزاد در دو طول موج عبور می کند، اندازه می گیرد (۷۸۰ نانومتر و ۸۱۵ نانومتر). نوری که از میان رشته ای از فیبرهای نوری جذب و پخش می شود با استفاده از یک کلاه پلاستیکی روی سر نوزاد متمرکز می شود. به عبارتی جهت برگرداندن داده های زمان مقرر به تصاویر سه بعدی نوری، یک شبکه سه بعدی دقیق (FEM)^۳ از سر نوزاد با هندسه واقعی لازم است. تصاویر ناشی از امواج جذب و پخش شده با استفاده از مدل گفته شده، برای داده های آزمایشی می تواند تولید شود. لذا موضوع اصلی تعیین یک سطح مشبک دقیق که به صورت صحیح برای موقعیت سه بعدی امواج که در زمان مطالعه توموگرافیک ثبت شده است می باشد، و بدین ترتیب یک مدل FEM سه بعدی دقیق تولید می شود.

بنابراین برای آزمایش، تنها اطلاعات در دسترس، موقعیت تقریبی از امواج هستند که با استفاده از نمادهای سه بعدی رقومی بعد از بررسی بر روی کلاه اندازه گیری می شوند. سطح مشبک فرضی تولید شده برای چسباندن این نقاط و تهیه شبکه ای از نقاط جهت بازسازی تصویر استفاده می شود. قابلیت اعتماد این سطح به تولید سطح صحیحی از سر نوزاد منجر می شود و احتمالا دارای خطاهای قابل توجهی خواهد بود. دلیل اصلی این موضوع ساختار کلاه است که لزوما قابل تغییر شکل است، موقعیت هر موج تاییده شده به ناچار پس از اینکه سطح سر نوزاد از کلاه جدا می شود تغییر می کند. اندازه گیری موقعیت ها در طول توموگرافی از آنجایی که سر نوزاد از

دسترسی به پشت کلاه جلوگیری می کند غیر ممکن است.

۱-۳. توسعه یک سیستم اندازه گیری

فتوگرامتریکی برای ایجاد سطح مشبک

فتوگرامتری روشی است برای تهیه اطلاعات مکانی دقیق از چندین تصویر دو بعدی که از یک شی سه بعدی اخذ شده است. این تصاویر به صورت متقارب و پوشش دار که همزمان با هم توسط یک دوربین و نقاط مبنای ثابت در میدان دید ثبت می شوند و یا توسط دو (یا بیشتر) دوربین که در ارتباط با هم روی یک محور در فاصله مشخصی از هم قرار دارند، گرفته می شوند. تصاویر مشترک روی سطح شی که در هر عکس مشخص می باشد، باعث می گردد که سطح به صورت سه بعدی قابل نمایش باشد. به منظور این تحقیق که باید نقاط مخصوصی از مو و پوست سطح سر نوزاد مشخص شود، نقاط به صورت ماهرانه روی سر ثابت شده یا طراحی می شود. سطوح سه بعدی تهیه شده از هر جفت عکس به صورت تکه هایی برای تولید یک سطح سه بعدی کاملی از سر ثبت می شوند. ثبت این سطوح ممکن است با استفاده از شناسایی نقاط مشترک در سطح پوشش دار یا با استفاده از فنون تناظریابی نقاط سطح مانند نقطه همسایگی ICP^۴ انجام شود.

در حالت بحرانی که کودکان بیمار و تحت مراقبت شدید هستند، استفاده از اطلاعات فتوگرامتری از تماس مستقیم و لمس کودک جلوگیری به عمل می آورد. نوزادان در تخت خواب مخصوصی گذاشته می شوند، جایی که محدودیت هایی از

فتوگرامتریکی، با عنوان یک self calibration bundle adjustment شناخته می شود که به خصوصیات هندسی هر دوربین اجازه می دهد به خوبی با هم هم تراز شوند.

عکس (a) نشان می دهد که سطح سر یک عروسک پلاستیکی با استفاده از اشعه x، CT به دست می آید، و عکس (b) بخشی از سطح تولید شده به روش فتوگرامتری را نشان می دهد. مقایسه بین این دو سطح در عکس (c) نشان داده می شود و میله کناری تفاوت را به میلی متر نشان می دهد، که در بیشتر قسمت ها در حدود ۰/۵ میلی متر و در بدترین حالت حدود ۱/۵ میلی متر است. دقت اندازه گیری سه بعدی و کمیت های آماری دیگر، تخمینی از کیفیت اطلاعات فتوگرامتری که از سرشکنی به روش باندل برای هر دو تنظیمات (کالیبراسیون) دوربین و فرآیند اندازه گیری سطح سر پلاستیکی به دست آمده، فراهم می کند. جدول زیر ارتباط بین تعیین مختصات سه بعدی روی شی تنظیم شده و سر عروسک را نشان می دهد که برای نمایش تفاوت در دقت اندازه گیری بین اهدافی (تارگت هایی) که نور را باز می تابانند و اشکال طبیعی استخراج شده از شبکه، قابل استناد

جدول ۱. آمارهای ناشی از سرشکنی به روش باندل

پارامتر	کالیبراسیون	نتیجه
اندازه نقاط مجموعه شبکه	۶۶	۸۶۱
اندازه نقاط عکس مشاهده شده	۸۲۳	۲۰۸۲
اندازه عکس ها در شبکه	۲۲	۲۲
RMS باقی مانده عکس (µm)	۱۶۰	۶۶۵
میانگین دقت مختصات نقاط (µm)	X: ۲۷, Y: ۲۸, Z: ۷۸	X: ۲۷, Y: ۲۸, Z: ۷۸
دقت نسبی شبکه	۱:۵۶۰۰۰	۱:۶۰۰۰

تشکیل شبکه هایی از بخش های مختلف سطح سر از زوایای مختلف دید سه بعدی استفاده می شود، و نرم افزار Innovometrics Polyworks برای ثبت مجموعه اطلاعات هر شبکه برای ایجاد مدل کاملی از سر استفاده می شود.

۲. روش آزمایشی و نتایج

به عبارتی برای اعتبار بخشی به سامانه اندازه گیری جهت استفاده متداول، مجموعه ای از انواع نمونه ها گرفته می شود. در ادامه نتایج حاصل از این نمونه ها آورده می شود.

۲-۱. تایید روش

روش فتوگرامتری در ابتدا با استفاده از مدل های پلاستیکی سر تایید شد. به عبارت دیگر دقت و قابلیت تکرار آن جهت استفاده، تایید شد. برای دستیابی به این هدف شبکه های تولید شده با استفاده از فتوگرامتری با سطوح استاندارد طلایی رنگی که با لیزر اسکن و CT تهیه شده بود مقایسه شد. قبل از هر چیز جهت استفاده، سامانه فتوگرامتری باید برای تعیین خصوصیات نوری و هندسی دوربین ها و هم تراز شدن با هم تنظیم شود. یک روش

نظر نمایش، دید و دسترسی فیزیکی وجود دارد. در روش عملی، پرستار، پزشک یا پدر و مادر به کنترل موقعیت نوزاد برای تصویربرداری زیاد سطح سر به صورت عملی قادر می باشند. با استفاده از سامانه فتوگرامتری، با دقت بالا و بهای اندک، شبکه دقیقی از سطح سر نوزادان تازه متولد شده ایجاد شده و تحت آزمایش است. در دنیا سامانه های تجاری از سازنده های مختلف وجود دارد که از فتوگرامتری برای دستیابی به اندازه گیری هایی لازم بدون دخالت عامل انسانی، استفاده می کنند، اما این سامانه ها انعطاف لازم را برای تعیین دقت انطباق امواج ارائه نمی دهند و معمولاً برای کاربرد در واحدهای شلوغ نوزادان تازه متولد شده، مناسب نیستند. سامانه مورد هدف با یک جفت دوربین همزمان با دقت بالا که روی یک پایه نصب شده آزمایش شد (Nikon D70 با دقت ۶/۸ مگاپیکسل) دوربین ها با عدسی های با فاصله کانونی ثابت و تنظیمات هندسی جهت تصویربرداری که به اندازه کافی از استحکام لازم جهت استفاده متوالی در کلینیک، استفاده می شوند.

برای تهیه یک سطح اندازه گیری مناسب و سازگار که اندازه ها با تعدد مو و رنگ پوست تحت تاثیر قرار می گیرند، یک نوار توری کوتاه اطراف سر نوزاد در طول عکسبرداری کشیده می شود. این شبکه توری از الیاف نرم و قابل انبساط درست شده است. بافتی که شکل سازگاری را برای اندازه گیری تصویر فتوگرامتری فراهم می کند. نرم افزار فتوگرامتری VMS^۵، برای

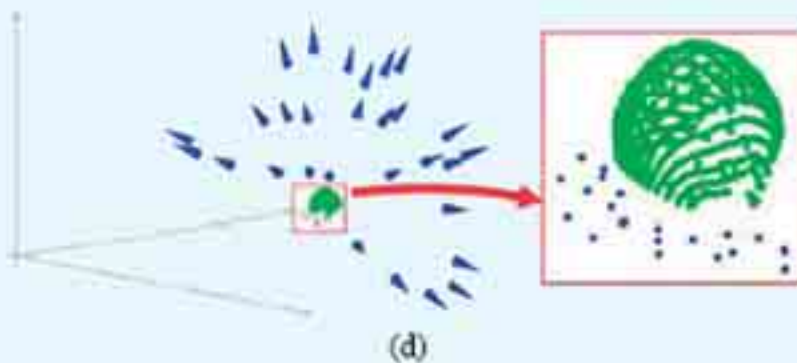
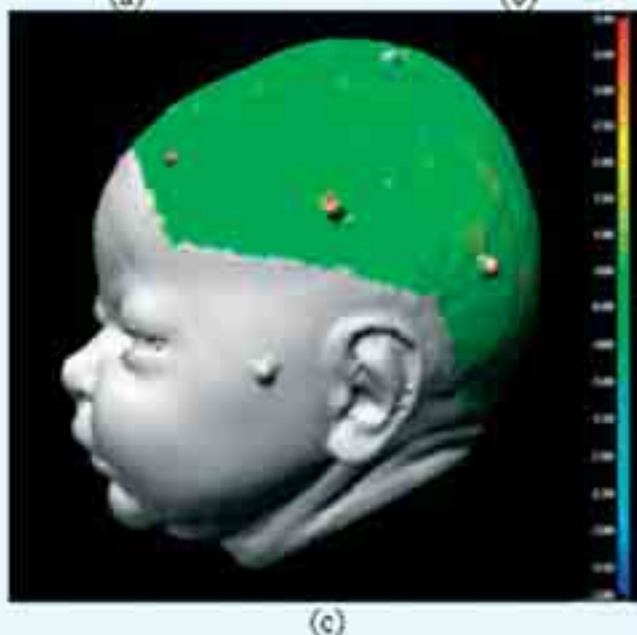
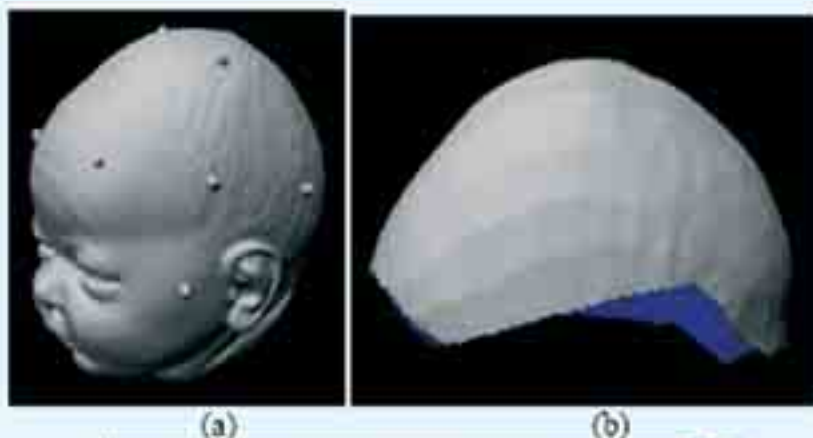
است. عکس (d) شبکه فتوگرامتریکی است. تصاویری را که برای اندازه گیری سطح سر عروسک گرفته شده نشان می دهد، مخروط های آبی رنگ موقعیت های دوربین و مجموعه نقاط سبز اندازه گیری های روی سطح سر عروسک می باشد.

۲-۲. ارزیابی کلینیکی

در پایین یک روش صحیح رضایت بخش، نمایش داده می شود. روش فتوگرامتری روی یک نوزاد سالم زودرس در کلینیک انجام شده است که در آن مجموعه ای از تصاویر استریوسکوپی اطراف سر نوزاد گرفته شد، و سپس تکه های سطح سر که با استفاده از چندین جفت عکس از بخش های مختلف با روش تقاطع فتوگرامتری تشکیل شد. این تکه های سطح برای تشکیل شبکه کاملی از سر، با هم تلفیق شدند.

عکس ۲ یکی از جفت عکس هایی که برای تشکیل شبکه بخشی از سر استفاده شد را نشان می دهد (c). جدول ۲ بعضی از پارامترهای کیفی وابسته که خروجی فرآیند پایین را که از یک جفت عکس می باشد را نشان می دهد.

دو محدودیت مهم برای این روش در این مرحله وجود دارد. اول، ساختار و دانسیته بافت نوار پزشکی استفاده شده برای تهیه یک سطح قابل اندازه گیری فتوگرامتریکی که برای تمام کودکان در کلینیک سازگار باشد و هیچ زبانی برای نوزاد نداشته باشد. دوم، گستردگی سطحی که در هر جفت Stereo که به یک سطح کروی شکل حفره دار منجر می شود، اندازه گیری می شود.



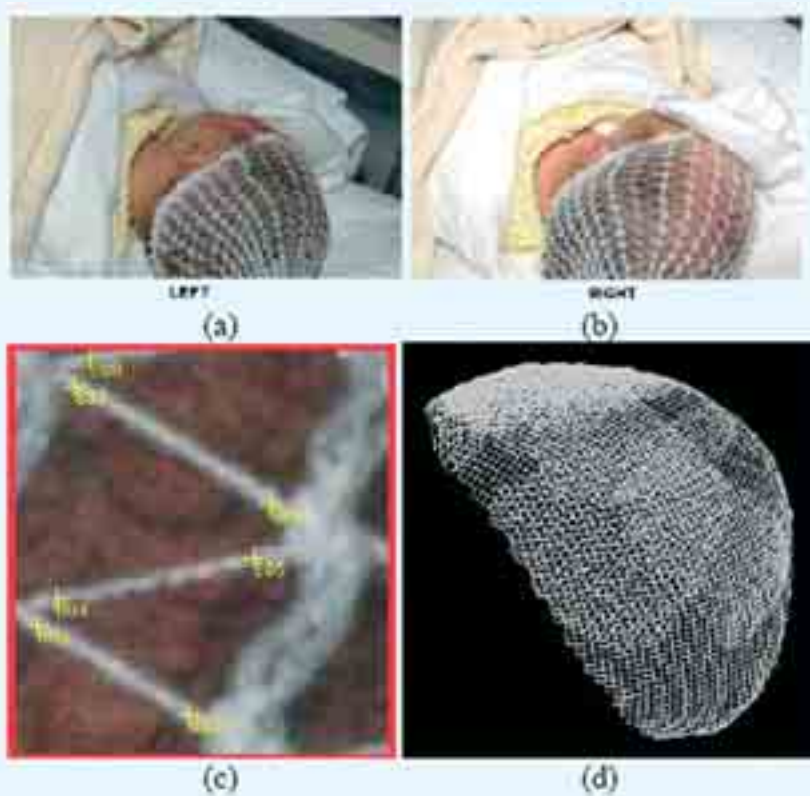
عکس ۱. (a) سطح CT Scan، (b) سطح فتوگرامتریک، (c) مقایسه بین سطوح، (d) هندسه تصویربرداری دو تصویر

دستی در شبکه توری روی سر نوزاد در ترم‌های دقت اندازه‌گیری عکس با هندسه شبکه (۲۳) عکس در یک شبکه هندسی متقارب با استفاده از یک جفت stereo) یک تنزل مورد انتظار را در دقت اندازه‌گیری از ۳۵ میکرومتر در راستای هر سه محور با استفاده از شبکه تا ۴۰ میکرومتر در سطح x و y و ۲۰۰ میکرومتر در عمق برای یک stereo نشان می‌دهد. با یک سیستم دو دوربین، از آنجایی که در این فرایند هر دو کودک و شبکه می‌توانند در حین گرفتن جفت تصویر حرکت کنند، از اینرو هیچ نقطه مشترک ثبت شده‌ای مورد اعتماد نیست در حالی که تکه‌های سطح استخراج شده با استفاده از سطحی است که مبنای آن نقاط مشترک روی تور است.

تحلیل اطلاعات به دست آمده از نقاط هدف روی سر که تصویربرداری شده‌اند و ترکیب نقاط هدف و تصویربرداری نوری روی کلاه یک تفاوت بزرگ تر ۴ میلی متری را در x و y و ۷ میلی متری را در عمق برای نقاط هدف که از یک منظر به منظر دیگر تا ۱۰۰ میلی متر در x و y و ۸۵ میلی متر در عمق برای سیستم ترکیب شده ثابت هستند نشان می‌دهد. این اختلاف زیاد به صورت شعاعی در شبکه گسترش دارد. بنابراین نتایج

جدول ۳. اطلاعات آماری وابسته به روش باندد از ترکیب نقاط هدف نوری و حل مختصات امواج

تعداد نقاط سنجشی در شبکه	۱۳۳
تعداد نقاط هدف (تارگت) سنجشی شده	۲۳
تعداد سنسورها در شبکه	۲۲
RMS مقیاسده (mm)	۲۳
میانگین دقت مختصات نقاط هدف (تارگت) (mm)	X: ۷۲, Y: ۱۰۵, Z: ۱۸۵
دقت نسبی شبکه	1/۳۰۰۰



عکس ۲. (a) تصویر چپ و (b) تصویر راست یک جفت stereo (c) تصویر با بزرگنمایی (d) سطح سه بعدی

جدول ۲. آمارهای وابسته از پردازش اطلاعات فتوگرامتری یک جفت عکس

انحراف معیار نقاط سطح (mm)	X: ۲۳, Y: ۲۳, Z: ۱۱۲
میانگین باقی مانده ها (mm)	۷۷

شوند سپس شبکه‌ای از مختصات نقاط موجود در سر راه امواج تشکیل می‌شود. (عکس ۳) مقایسه بین نقاط تعیین شده به صورت

۳-۲. هم‌ترازی با پرتونگاری

در اینجا روش کار به این صورت است که در فرآیندی، تعیین موقعیت و انطباق پرتوها هنگام دریافت اطلاعات توموگرافیک انجام شود. دوباره روش‌های فتوگرامتری برای عکسبرداری از نقاط هدف (تارگت) که روی شعاع نوری کلاه و ساختار آن قرار گرفته‌اند و امواج را منعکس می‌کنند، استفاده می‌شود. این نقاط هدف می‌توانند با استفاده از روش اندازه‌گیری استاندارد فتوگرامتریکی تعیین مختصات

فتوگرامتری در تعیین موقعیت و توجیه امواج و تعیین وابستگی مکان آنها روی سطح سر نوزاد که با کلاه پوشیده شده است، پشرفت‌هایی در حال انجام است. یک مجموعه کار آزمایشی جهت تعیین تاثیر نامعلوم در موقعیت امواج و درستی مدل سطح روی خروجی روش توموگرافی در حال انجام است.



عکس ۳. (a) کلاه مجهز به امواج نوری (b) کلاه روی سر کودک در حال کار در کلینیک (cd) تصاویر نمونه از یک شبکه فتوگرامتری شامل هر دو تصاویر نقاط هدف و امواج نورانی

۴. پانوشتها

1. University College London
2. Time-resolved Optical Absorption and Scatter Tomography
3. Finite Element Method
4. Iterated Closest Points
5. Vision Measurement System
6. Computerised Tomography
7. Root Mean Square

۵. منبع

پایگاه اینترنتی:

www.isprs.org/Commission5/proceedings06/paper/1242_Dresden06.pdf

به دست آمده با اهمیت تر از روش‌های موجود قبلی هستند.

تهیه بهترین مدل مورد انتظار سر نوزاد از توموگرافی نوری استخراج خواهد شد. روش فتوگرامتری در حال حاضر در فرآیند تصویربرداری کلینیکی که می‌تواند به صورت کاربردی برای تمام نوزادان در زایشگاه‌های شلوغ که در آنها مطالعات توموگرافی انجام می‌شود، استفاده شود. علاوه بر این، جهت توسعه استفاده

۳. خلاصه

پس از انتخاب بادقت هر دو مورد حجم و هندسه تصویر، با استفاده از روش فتوگرامتری اطلاعات سه بعدی سطح برای

