بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مخابرات گرایش سیستم

بهبود ناحیه بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان با استفاده از اطلاعات مبتنی بر چند اطلس

بوسیله:

افروز قاسمی

اساتید راهنما:

دکتر محمد جواد دهقانی ، دکتر کامران کاظمی

اسفند ۱۳۹۰

بسمه تعالی

بهبود ناحیه بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان با استفاده از اطلاعات مبتنی بر چند اطلس

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

توسط:
افروز قاسمی

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه:

دکتر محمد جواد دهقانی- دانشیار رشته مخابرات-سیستم (استاد راهنما)

دکتر کامران کاظمی- استادیار رشته مخابرات-سیستم (استاد راهنما)

دکتر محمد صادق هل فروش - دانشیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

دکتر محمود رشیدپور- استادیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است

تقدیم به بیکران عشق مادر و بلندی آرزوی پدر که با این
عشق و آرزو به بار نشستم و با این کوچک نه از عهده برآیم
و نه پاسخ توانم

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خدای را که مرا یاری کرد و لطف بی کرانش را شامل حالم نمود، که تحصیلاتم را در مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه صنعتی شیراز به پایان برسانم.

در ابتدا لازم می دانم از زحمات استادان ارجمندم آقایان دکتر محمدجواد دهقانی و دکتر کامران کاظمی، که در به ثمر رساندن این پایان نامه مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم که قطعاً بدون راهنمایی های ارزنده آنان، این مجموعه به انجام نمی رسید.

همچنین از اساتید گرامی دکتر رشیدپور و دکتر هل فروش و دکتر شاصادقی که قبول زحمت فرموده اند، ضمن بازبینی پایان نامه، جلسه دفاعیه را با حضور خود اعتبار بخشیدند، کمال تشکر را دارم.

همچنین تشکر ویژه ای از جناب آقای دکتر رشیدپور دارم، بخاطر صبر و حوصله ای که در پاسخ گویی به سوالات من در زمینه LaTeX بخرج دادند.

در پایان، بوسه می زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می کنم وجود مقدس شان را و تشکر می کنم از برادر عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودش، که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان من بودند.

چکیده

بهبود ناحیه بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان

با استفاده از اطلاعات مبتنی بر چند اطلس

بوسیله ی:

افروز قاسمی

در این پایان نامه، هدف ارائه روشی جهت ناحیه بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز به سه بافت ماده سفید، ماده خاکستری و مایع مغزی-نخاعی می باشد. هنگامی که یک اطلس استاندارد در دسترس باشد، روش ناحیه بندی مبتنی بر اطلس یکی از مناسب ترین ابزارها برای ناحیه بندی تصاویر پزشکی محسوب می شود. این روش علیرغم دقت بالایی که دارد، بدلیل بالا بودن حجم محاسبات، زمان بر و طولانی می باشد. در روش ناحیه بندی ارائه شده، الگوریتمی مبتنی بر اطلاعات چند اطلس ارائه شده که تلاش علاوه بر دقت بالا، دارای زمان و حجم محاسبات حداقل می باشد. از آنجا که بیشتر زمان ناحیه بندی بر مبنی اطلس صرف عملیات منطبق سازی می شود، در الگوریتم پیشنهادی، عملیات منطبق سازی پس از انتخاب اطلس های مناسب انجام می گیرد و به این ترتیب تعداد اطلس هایی که نیاز به تطبیق دارند، حتی الامکان کم می شود. همچنین در ابتدای الگوریتم به منظور تطبیق اطلس ها به تصویر هدف از عملیات منطبق سازی خطی که زمان و میزان محاسبات کمتری دارد، استفاده شده و این امر باعث سرعت بخشیدن به الگوریتم خواهد شد.

در روش پیشنهادی، ابتدا اطلس های موجود بر اساس میزان شباهت شان، خوشه بندی و سپس بهترین خوشه برای عملیات تطبیق انتخاب شده و اعضای آن خوشه بصورت غیرخطی به تصویر هدف منطبق می شود. نتایج این انطباق، با هم ترکیب شده و اطلس برآیند را ایجاد می کنند و در انتها بوسیله این اطلس متوسط بدست آمده، تصویر هدف ناحیه بندی می گردد.

نتایج پیاده سازی بر داده های واقعی و ارزیابی های کمی و کیفی، موید دقت و کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش های متداول ناحیه بندی می باشد. نتایج ناحیه بندی تصاویر مغزی به دست آمده می تواند به کمک پردازش های بعدی در تحلیل آناتومی و یا تشخیص بیماری ها و آسیب های مغزی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اطلس، تصاویر تشدید مغناطیسی، ناحیه بندی مغز، روش های مبتنی بر اطلس.

فهرست مطالب

فهرست مطالب **چهار**

فهرست جدول‌ها **هشت**

فهرست شکل ها **نه**

۱ ناحیه بندی تصاویر MRI مغز انسان **۱**

۱.۱ مقدمه ۱

۲.۱ ساختار مغز انسان ۲

۳.۱ تصویربرداری تشدید مغناطیسی ۳

۴.۱ تصاویر چندطیفی ۵

۵.۱ ناحیه بندی تصاویر پزشکی ۸

۶.۱ مشکلات ناحیه بندی تصاویر MRI ۱۰

۷.۱ هدف پایان نامه ۱۱

۸.۱ رئوس مطالب ارائه شده در این پایان نامه ۱۲

۲ مروری بر روش های ناحیه بندی تصاویر MRI مغز **۱۴**

۱.۲ مقدمه ۱۴

۲.۲ پیش پردازش ۱۵
۱.۲.۲ حذف جمجمه ۱۵
۲.۲.۲ حذف نویز ۱۷
۱.۲.۲.۲ فیلتر گوسی ۱۸
۲.۲.۲.۲ فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد ۱۸
۳.۲.۲ نایکنواختی شدت روشنایی ۲۱
۱.۳.۲.۲ روش های گذشته نگر ۲۳
۴.۲.۲ اثر حجم جزئی ۲۵
۳.۲ مروری بر روش های ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی ۲۶
۱.۳.۲ روش آستانه گذاری ۲۸
۲.۳.۲ ناحیه بندی مبتنی بر اطلاعات ناحیه ای ۳۰
۳.۳.۲ روش های مبتنی بر طبقه بندی کننده ۳۱
۴.۳.۲ روش خوشه بندی ۳۲
۵.۳.۲ مدل میدان تصادفی مارکوف ۳۴
۶.۳.۲ روش های مبتنی بر شبکه های عصبی مصنوعی ۳۴
۴.۲ خلاصه فصل ۳۶

۳ روش های مبتنی بر اطلس ۳۷

۱.۳ مقدمه ۳۷
۲.۳ اطلس ۳۷
۱.۲.۳ برخی از رایج ترین اطلس های کاربردی ۳۹
۳.۳ ناحیه بندی تصاویر پزشکی به کمک اطلس ۴۲

۱.۳.۳ عملیات تطبیق ۴۲
۲.۳.۳ معیار شباهت ۴۴
۳.۳.۳ روش های مبتنی بر چند اطلس ۴۸
۴.۳ آشنایی با نرم افزارهای تحلیل تصاویر مغزی ۶۲
۱.۴.۳ SPM ۶۲
۲.۴.۳ FSL ۶۳
۳.۴.۳ BrainSuite ۶۴
۴.۴.۳ Elastix ۶۴
۵.۴.۳ دیگر نرم افزارها ۶۵
۵.۳ خلاصه فصل ۶۷

۴ روش پیشنهادی ناحیه بندی تصاویر MRI مغز انسان با استفاده از اطلاعات مبتنی بر چند اطلس و پیاده سازی های مربوطه ۶۸

۱.۴ مقدمه ۶۸
۲.۴ الگوریتم پیشنهادی ۶۹
۳.۴ روش های ارزیابی کمی ۷۴
۱.۳.۴ معیارهای شباهت ۷۵
۲.۳.۴ معیارهای نرخ موفقیت و خطا ۷۶
۴.۴ داده های MRI مغز ۷۶
۱.۴.۴ داده های IBSR ۷۶
۲.۴.۴ داده های LONI ۷۷
۵.۴ نتایج پیاده سازی ۷۸

۱.۵.۴ پیاده سازی با استفاده از داده های IBSR ۷۹
۲.۵.۴ پیاده سازی با استفاده از داده های LONI ۸۲
۳.۵.۴ پیاده سازی با استفاده از داده های LONI و IBSR ۸۴
۶.۴ مقایسه الگوریتم پیشنهادی با چند الگوریتم دیگر ۸۷
۷.۴ خلاصه فصل ۹۱

۵ نتایج و پیشنهادات **۹۳**
۱.۵ نتیجه گیری ۹۳
۲.۵ کاربردها ۹۵
۳.۵ پیشنهادات ۹۵

مراجع **۹۷**

فهرست جدول‌ها

۱.۴ ارزیابی کمی از روش پیشنهادی بر روی داده های IBSR ۸۰

۲.۴ محاسبه میانگین و انحراف معیار نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی پایگاه داده IBSR ۸۱

۳.۴ محاسبه میانگین و انحراف معیار نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی ۲۰ تا از تصاویر پایگاه داده LONI ۸۳

۴.۴ محاسبه میانگین و انحراف معیار نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی داده های IBSR و LONI ۸۶

۵.۴ مقایسه میانگین و انحراف معیار مربوط به معیار شباهت Jaccard برای نتایج ناحیه بندی تصاویر IBSR به روش پیشنهادی و چند روش دیگر ۸۸

۶.۴ مقایسه میانگین و انحراف معیار مربوط به معیار شباهت Jaccard برای نتایج ناحیه بندی تصاویر IBSR به روش پیشنهادی و چند روش دیگر ۹۱

فهرست شکل ها

۱.۱ بافت های اصلی مغز [۱] ۳

۲.۱ نحوه قرارگیری یک نمونه در میدان مغناطیسی سیستم تصویربرداری MRI ۴

۳.۱ نمونه ای از تصاویر T_1 و T_2(برگرفته از پایگاه داده BrainWeb)الف)برش ۷۳ام محوری تصویر T_1، ب)برش ۷۳ام محوری تصویر T_2 . . . . . ۷

۴.۱ نمونه ای از تصویر T_1 مغز(برگرفته از پایگاه داده BrainWeb).الف)برش ۷۳ام محوری، ب)برش ۱۲۷ام کرنال، ج)برش ۹۱ام سجیتال. ۷

۵.۱ نمونه ای از تصویر T_1(برگرفته از پایگاه داده BrainWeb) و ناحیه بندی آن.الف)برش ۹۰ از تصویر T_1 ورودی ، ب) بافت های مغزی استخراج شده ۹

۶.۱ نمونه ای از تصویر T_1(برگرفته از پایگاه دادهBrainWeb) و ناحیه بندی آن.الف)برش ۹۰ از تصویر T_1 ورودی، ب) ماده خاکستری، ج) ماده سفید، د) مایع مغزی-نخاعی ۹

۱.۲ دیاگرام بلوکی نمونه برای ناحیه بندی تصاویر MRI ۱۵

۲.۲ حذف جمجمه با استفاده از روش BET، اعمال شده بر نمونه ای از تصاویر BrainWeb.الف) تصویر اصلی، ب) تصویر پس از حذف جمجمه ۱۶

۳.۲ نمونه ای از تصویر MRI تحت تاثیر نویز. (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر نویزدار . ۱۷

۴.۲ نمونه ای از یک تابع گوسی ۱۹

۵.۲ نمونه ای از تصویر MRI برگرفته از پایگاه داده BrainWeb تحت تاثیر نویز.(الف) تصویر نویزدار قبل از اعمال فیلتر گوسی، (ب) تصویر اصلاح شده پس از اعمال فیلتر گوسی ۲۰
۶.۲ نایکنواختی شدت روشنایی در تصویر MRI [۲].(الف) تصویر اصلی. (ب)نایکنواختی تصویر.(ج)تصویر اصلاح شده ۲۲
۷.۲ دسته بندی روش های گذشته نگر ۲۳
۸.۲ نمایش پدیده اثر حجم جزئی، الف) تصویر ایده آل. (ب) تصویر بدست آمده از سیستم تصویربرداری غیر ایده آل) ۲۶
۹.۲ تقسیم بندی الگوریتم های ناحیه بندی به سه نسل [۳]. ۲۹
۱۰.۲ نمونه ای از هیستوگرام تصویر MRI مغز انسان نمایانگر سه کلاس [۴] ۳۰
۱۱.۲ ناحیه بندی مبتنی بر اطلاعات ناحیه ای. (الف) تصویر اصلی. (ب) ناحیه ای از تصویر مغز که از سایر نواحی تفکیک شده است. ۳۱
۱۲.۲ نمونه ای از فضای ویژگی دوبعدی با دو کلاس ۳۳
۱۳.۲ ناحیه بندی یک تصویر MRI مغزی برگرفته از [۴]. (الف)تصویر اصلی. (ب)تصویر ناحیه بندی شده با استفاده از الگوریتم K-mean. (ج) تصویر ناحیه بندی شده با استفاده از الگوریتم K-mean و MRF ۳۵
۱۴.۲ نمونه ای از شبکه های عصبی مصنوعی ۳۶

۱.۳ مدل اطلس ICBM452. الف)قالب تصویر T_1، ب)WM، ج)GM، د)CSF ۳۸
۲.۳ نمونه ای از نتیجه اعمال عملیات تطبیق. الف)تصویر هدف. ب)اطلس. ج)نتیجه اعمال عملیات تطبیق خطی.د) نتیجه اعمال عملیات تطبیق غیرخطی. ۴۵

۳.۳ نمونه ای از هیستوگرام متقابل بین دو تصویر فرض شده. الف) دو تصویر فرضی با ابعاد ۳*۳. ب) هیستوگرام متقابل بین دو تصویر. ج)نمودار سه بعدی هیستوگرام متقابل بین دو تصویر ۴۶
۴.۳ نمای کلی روش ناحیه بندی بر مبنای چند اطلس. ۴۸
۵.۳ ناحیه بندی بر اساس یک اطلس واحد.[۵] ۵۰
۶.۳ ناحیه بندی بر اساس شبیه ترین اطلس موجود [۵]. ۵۱
۷.۳ ناحیه بندی بر اساس متوسط گیری بر روی تمام اطلس های موجود [۵]. ۵۲
۸.۳ ناحیه بندی بر اساس ترکیبی از نتایج ناحیه بندی چند اطلس واحد [۵]. ۵۳
۹.۳ شماتیک روش پیشنهادی Aljabar و همکارانش. ۵۴
۱۰.۳ یکسان سازی شدت روشنایی بوسیله یک تابع نگاشت خطی تکه ای $m = m(g)$.[۶] ۵۸
۱۱.۳ نتایج تبدیلات به کار برده شده در Elastix. الف)تصویر ثابت(هدف). ب)تصویر متغیّر(اطلس). ج)تصویر متغیّر پس از اعمال تبدیل Rigid. د) تصویر متغیّر پس از اعمال تبدیل B-spline. ۶۶

۱.۴ دیاگرام بلوکی روش پیشنهادی ۷۰
۲.۴ نمایش معیارهای مثبت واقعی، منفی کاذب، مثبت کاذب و منفی واقعی[۷] ۷۵
۳.۴ نمونه ای از تصاویر IBSR و نقشه احتمالی بافت های آن. الف)برش ۲۷ام کرونال تصویر T_1. ب)GM. ج)WM. د)CSF. ۷۷
۴.۴ نمونه ای از تصاویر LONI و نقشه احتمالی بافت های آن. الف)برش ۶۴ام کرونال تصویر T_1. ب)GM. ج)WM. د)CSF. ۷۸
۵.۴ نمودار میله ای نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی داده های واقعی IBSR بر اساس معیار Dice ۸۱

۶.۴ نتایج ناحیه بندی برش ۱۸ از تصویر نمونه (۲۳-۱۰۰) پایگاه داده IBSR بوسیله الگوریتم پیشنهادی. الف) تصویر T_1 ورودی. ب) تصویر مرجع GM . ج) تصویر مرجع WM. د) تصویر مرجع CSF. ه) نتیجه ناحیه بندی GM. و) نتیجه ناحیه بندی WM. ز) نتیجه ناحیه بندی CSF. ۸۲

۷.۴ نمودار میله ای نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی ۲۰ داده انتخاب شده از پایگاه داده LONI بر اساس معیار Dice ۸۳

۸.۴ نتایج ناحیه بندی برش ۶۱ از تصویر نمونه ($S\,06$) پایگاه داده LONI بوسیله الگوریتم پیشنهادی. الف) تصویر T_1 ورودی. ب) تصویر مرجع GM . ج) تصویر مرجع WM. د) نتیجه ناحیه بندی GM. ه) نتیجه ناحیه بندی WM. ۸۴

۹.۴ نمودار میله ای نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی داده های واقعی IBSR و LONI بر اساس معیار Dice ۸۵

۱۰.۴ نتایج ناحیه بندی برش ۱۸ از تصویر نمونه (۳-۱۱) پایگاه داده IBSR بوسیله الگوریتم پیشنهادی. الف) تصویر T_1 ورودی. ب)اطلس برآیند ساخته شده برای WM. ج) نتیجه ناحیه بندی WM. د) تصویر مرجع WM. ه)اطلس برآیند ساخته شده برای GM. و)نتیجه ناحیه بندی GM. ز)تصویر مرجع GM. ۸۶

۱۱.۴ نتایج ارزیابی WM بوسیله معیار Dice، بدست آمده از روش پیشنهادی بر روی ۱۵ نمونه نرمال MRI حاصل از پایگاه داده IBSR در مقایسه با نتایج حاصل از ارزیابی نرم افزارهای FSL و VBM. ۸۷

۱۲.۴ نتایج ارزیابی GM بوسیله معیار Dice، بدست آمده از روش پیشنهادی بر روی ۱۵ نمونه نرمال MRI حاصل از پایگاه داده IBSR در مقایسه با نتایج حاصل از ارزیابی نرم افزارهای FSL و VBM. ۸۸

۱۳.۴ نتایج ارزیابی WM بوسیله معیار Dice، بدست آمده از روش پیشنهادی بر روی ۱۵ نمونه نرمال MRI حاصل از پایگاه داده IBSR در مقایسه با نتایج حاصل از ارزیابی نرم افزارهای SPM و Brainsuite. ۸۹

۱۴.۴ نتایج ارزیابی GM بوسیله معیار Dice، بدست آمده از روش پیشنهادی بر روی ۱۵ نمونه نرمال MRI حاصل از پایگاه داده IBSR در مقایسه با نتایج حاصل از ارزیابی نرم افزارهای SPM و Brainsuite. ۹۰

فهرست نشانه های اختصاری

AD	Anisotropic Diffusion
BET	Brain Extraction Tool
BSE	Brain Surface Extraction
CSF	Cerebrospinal Fluid
EM	Expectation Maximization
FAST	FMRIB Automated Segmetation Tool
FN	False Negative
FP	False Positive
FSL	FMRIB's Segmentation Library
GM	Grey Matter
GMM	Gaussian Mixture Model
HMRF	Hidden Markov Random Field
IBSR	Internet Brain Segmentation Repository
ICBM	International Consertuim of Brain Mapping
KNN	K Nearest NEjghborhood
MAP	Maximum A Posterior
MI	Mutual Information
ML	Maximum Likelihood
MNI	Montreal Neurological Institution
MPM-MAP	Maximizer of the Posterior Marginals-Maximum A Posteriori

	Probability
MRF	Markov Random Field
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MSE	Mean Square Error
NMI	Normalize Mutual Information
PD	Proton Density
PVE	Partial Volume Effect
RF	Radio Frequency
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SPM	Statistical Parametric Mapping
TN	True Negative
TP	True Positive
TNF	True Negative Fraction
TPF	True Positive Fraction
VBM	Voxel-Based Morphometry
WM	White Matter

فصل ۱

ناحیه بندی تصاویر MRI مغز انسان

۱.۱ مقدمه

تصویربرداری از اندام ها و ارگان های بدن در تشخیص بیماری به پزشکان کمک شایانی می کند تا در تصمیم گیری نوع درمان بیماران موفق عمل کنند. کیفیت تصویر گرفته شده، تعداد و ابعاد تصاویر، سرعت انتقال تصاویر برای پزشک معالج و نوع بایگانی تصاویر برای دسترسی سریع و مجدد، همه فاکتورهای مهمی هستند که در تصویربرداری پزشکی مدنظر می باشند. با ظهور تجهیزات پزشکی دیجیتال و پیشرفته و نیز گرایش عرصه علوم پزشکی به جنبش نرم افزاری، بسیاری از این مشکلات کمرنگ تر و بسیاری از روش های تصویربرداری جدید از جمله رادیوگرافی، سونوگرافی و سی‌تی اسکن دیجیتالی شده اند.

از بین سیستم های تصویربرداری، سیستم‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی[۱] (MRI) و مغزنگاری کامپیوتری[۲] در تشخیص ناهنجاری‌های بافتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. استخراج اطلاعات از این تصاویر، مرحله مهمی در پردازش تصاویر پزشکی بشمار می‌رود و این مرحله پایه و اساس مرحله تشخیص بیماری و درمان لازم برای آن می‌باشد. پردازش تصاویر پزشکی، بویژه تصاویر MRI مغز، اغلب از پیچیدگی

۱- Magnetic Resonance Imaging ۲- Computed Tomography Scanning (CT-Scan)

های زیادی برخوردار است و معمولا روش های کلاسیک پردازش تصویر به تنهایی کارآیی لازم در این مورد را دارا نمی‌باشد. استفاده از تجربیات مفید پزشکان و یا اطلاعات آناتومیکی که در مورد بافت های مختلف بدن در اختیار است می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای عملیات پردازش تصاویر مورد استفاده قرار گیرد و باعث بهبود نتایج حاصل از این روش ها شود [۴].

۲.۱ ساختار مغز انسان

مغز انسان مرکز سیستم عصبی مرکزی[۱] در انسان و مرکز اصلی کنترل در سیستم عصبی جانبی[۲] محسوب می شود. مغز انسان ساختاری شبیه به ساختار عمومی مغز در دیگر پستانداران دارد، با این تفاوت که بیش از پنج برابر بزرگتر از میانگین مغز سایر پستانداران با اندازه بدن مشابه بدن انسان می باشد. علت عمده بزرگی مغز انسان وجود قشر مخ[۳]، یک لایه از بافت های عصبی درهم تنیده که سطح مغز پیشانی را می پوشاند، می باشد.

مغز از یک لایه خاکستری رنگ به نام ماده خاکستری[۴] (GM) در خارج پوشیده شده و در زیر آن، ماده سفید[۵] (WM) با بیشترین حجم قرار دارد. با وجود اینکه مغز با کمک لایه استخوانی جمجمه[۶] محافظت می شود، به منظور محافظت بیشتر و تغذیه، مغز درون مایع مغزی-نخاعی[۷] (CSF) به طور معلق قرار گرفته است.

ماده خاکستری مغز، مهمترین و اصلی ترین جزء سیستم عصبی مرکزی است که بطور عمده از بدنه سلول های عصبی و همچنین دندریت[۸]ها و آکسون[۹]های حاوی میلین[۱۰] و فاقد میلین تشکیل شده است. ماده خاکستری برخلاف ماده سفید دارای بدنه سلول های عصبی می باشد. تفاوت رنگ در ماده سفید و خاکستری به خاطر رنگ سفید میلین است. در بافت های زنده، ماده خاکستری به رنگ خاکستری مایل به قهوه ای دیده می شود که این رنگ به خاطر وجود مویرگ های خونی و بدنه سلول های عصبی است.

۱- Central nervous system (CNS) ۲- Peripheral nervous system (PNS) ۳- Cerebral cortex ۴- Gray Matter (GM) ۵- White Matter (WM) ۶- Skull ۷- Cerebro-Spinal Fluid (CSF) ۸- Dendrite ۹- Axon ۱۰- Myelin