

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سیگنال‌ها و سیستم‌ها در مهندسی پزشکی

(پردازش سیگنال و مدلسازی سیستم‌های بیولوژیکی)

ویرایش دوم

نویسنده:

Suresh R. Devasahayam

مترجمان:

مسعود زنگنه سروش

کیوان معقولی

نادر جعفرنیا دابانلو

پریسا تحویلیان

مرتضی زنگنه سروش



سرشناسه	:	دیواساهايام، سورش ار.
عنوان و نام پدیدآور	:	Devasahayam, Suresh R.
مشخصات نشر	:	سیگنال‌ها و سیستم‌ها در مهندسی پزشکی (بردارش سیگنال و مدل‌سازی سیستم‌های بیولوژیکی) / نویسنده Suresh R. Devasahayam ؛ مترجمان مسعود زنگنه سروش ... [و دیگران].
مشخصات ظاهری	:	قم: آثار نفیس، ۱۳۹۸.
شابک	:	۴۴۳ ص.
وضعیت فهرست نویسی	:	۹۷۸-۶۰۰-۷۹۶۴۶۵-۱
یادداشت	:	فبا
یادداشت	:	عنوان اصلی: signals and systems in biomedical engineering : signal processing and physiological systems modeling , 2nd ed, ۲۰۱۳.
موضوع	:	مترجمان مسعود زنگنه سروش، کیوان معقولی، پریسا تحویلان، نادر جعفریادایانلو، مرتضی زنگنه سروش.
موضوع	:	مهندسی پزشکی
موضوع	:	Biomedical engineering
موضوع	:	بردارش سیگنال‌ها
موضوع	:	Signal processing
موضوع	:	فیبولوزی -- الگوهای ریاضی
موضوع	:	Physiology -- Mathematical models
شناسه افزوده	:	زنگنه سروش، مسعود، ۱۳۴۷ - مترجم
رده بندی کنگره	:	۸۸۵۶
رده بندی دیویی	:	۶۱۰/۲۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۶۰۶۲۰۲۸

نام کتاب: سیگنال‌ها و سیستم‌ها در مهندسی پزشکی (بردارش سیگنال و مدل‌سازی سیستم‌های بیولوژیکی)

مترجمان: مسعود زنگنه سروش، کیوان معقولی، نادر جعفریادایانلو، پریسا تحویلان، مرتضی زنگنه سروش.

چاپ اول: ۱۳۹۸

ناشر: انتشارات آثار نفیس

شابک:

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۸۰۰۰۰ ریال



ISBN- ۹۷۸-۶۰۰-۷۹۶۴۶۵-۱

کلیه حقوق برای مؤلف / ناشر محفوظ می‌باشد.

- آدرس پستی: قم - انتشارات آثار نفیس - صندوق پستی ۳۷۱۶۵/۱۶۵
- انتشارات: ۰۲۵۳۳۲۸۰۴۶۳۴ مدیر مسئول: ۰۹۱۲۵۵۲۴۰۰۷
- فروشگاه اینترنتی: www.Shopnafis114.ir - www.Shopnafis114.com

مقدمه ویرایش دوم

این نسخه جدید شامل مواد قابل توجه جدید و بازنگری گسترده‌ای از مواد اصلی است. در دوره ده ساله‌ای که از انتشار اولین نسخه می‌گذرد چندین عامل موجب ایجاد تغییراتی در آموزش پردازش سیگنال پزشکی و مدل سازی سیستم‌های فیزیولوژی شده‌اند. اولین و بهترین تحولات در گسترش فن‌آوری بوده است. درحالی که در دهه ۱۹۹۰ دسترسی به رایانه‌های شخصی به این معنا بوده که چنین اصولی در پردازش سیگنال و مدل‌سازی سیستم‌های فیزیولوژیکی می‌توانسته با بسیاری از تکالیف برنامه‌نویسی تدریس شود، در دهه اول ۲۰۰۰ در دسترس بودن گرافیک‌هایی با کیفیت بالا در رایانه‌های شخصی به این معنا بود که مدل‌سازی فیزیولوژیکی واقعاً می‌تواند به عرصه آزمایش فیزیولوژی مجازی حرکت می‌کند. در واقع با کمک همکاران در بخش فیزیولوژی در CMC-Vellore، تعدادی از تکالیف و برنامه‌های اثباتی در این کتاب به عنوان آزمایش‌های فیزیولوژی تکمیلی برای دانشجویان پزشکی استفاده شده‌اند.

این آزمایشات مجازی برای جبران کاهش استفاده از حیوانات در کلاس درس جهت آزمایش مفید بوده‌اند.

من فکر می‌کنم گفتن این نکته صحیح است که حداقل در برخی از روش‌های ساده، آزمایشات مجازی دانش آموزان را قادر به دست آوردن درک بصری از فیزیولوژی می‌کند. استفاده از آزمایش‌های مجازی و گرافیک‌های کامپیوتری می‌تواند دسترسی به آزمایشات واقعی را با نشان دادن اینکه نمودارها و منحنی درس‌های حاصله از مجموعه‌ی سیگنالی از آزمایشات، نمونه‌هایی واقعی از یک خانواده از منحنی‌ها هستند، گسترش دهد. همانطور که در آموزش شیمی که نمودارهای مرسوم کتب درسی جای خود را به گرافیک‌های برجسته بین کامپیوتری داده‌اند، لازم است که تصاویر موجود در کتب فیزیولوژی از نمودارهای مسطح ساده روی کاغذ فراتر روند. فصل‌های مربوط به انتشار پتانسیل کنش عصبی و انقباض و حرکت عضلات این موضوع را به وضوح نشان می‌دهند.

بر این اساس، در این ویرایش دوم فصل‌های پردازش سیگنالی کمرنگ شده‌اند (تبدیل شده‌اند به "آموزه‌هایی در قالب بخش‌های کوچکتر در پردازش سیگنال")، و فصل‌های مدل‌سازی فیزیولوژیکی گسترش یافته‌اند.

این نسخه با مجموعه‌ای از برنامه‌ها برای نمایش پردازش سیگنال و آزمایشات شبیه سازی با گرافیک‌های تعاملی همراه است. این برنامه‌ها جایگزین مجموعه‌ای از برنامه‌هایی می‌شوند

که در ویرایش اول ارائه شدند. هرچند که متن را می‌توان بدون آزمایشات تصویری استفاده کرد، زیرا که آنها به طور گسترده در بخش‌های فیزیولوژی و فیزیولوژی اعصاب در CMC-Vellore استفاده شده‌اند، ولی به احتمال زیاد خواننده آنها را مفید می‌داند. کد منبع نیز ارائه شده است به طوری که خواننده علاقه مند ممکن است آنها را برای استفاده خودش وفق دهد. مهندسی و فیزیولوژی نشان دهنده دو نقش مهم از تئوری و آزمایش هستند. بنابراین، اگر دانش آموز دارای ابزارهای کار واقعی با سیگنال‌های واقعی باشد و بسیاری از ایده‌های نظری توسعه یافته در این کتاب را امتحان کند، یادگیری روند بهتری خواهد داشت. ضمیمه شامل توضیح مختصری از داده‌های بدست آمده با یک کامپیوتر (همراه با برنامه‌های نمونه) و دستورالعمل‌هایی در مورد چگونگی ساخت یک تقویت کننده پتانسیل زیستی ساده برای به دست آوردن سیگنال‌های فیزیولوژیکی واقعی است.

Suresh R. Devasahayam

Vellore

مقدمه ویرایش اول

پردازش سیگنال زیست پزشکی استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال برای تفسیر سنجش‌های فیزیولوژیکی است. اگر چه تکنیک‌های تحلیلی پردازش سیگنال تا حد زیادی از تحولات بوجود آمده در مهندسی ارتباطات از راه دور و ریاضیات کاربردی به دست آمده، اما ماهیت داده‌های فیزیولوژیکی نیازمند درک بیولوژیکی قابل توجهی برای تفسیر آن است. هر نمونه قابل استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال بر روی مدل‌های صریح یا ضمنی پیش بینی شده است.

تفسیر داده‌های فیزیولوژیکی حاوی فرضیات خاصی در مورد فرایندهای فیزیولوژیکی اساسی است که ممکن است ما این را مدل سیستم بنامیم.

چه یک نفر از مدلی که مربوط به موجودیت‌های فیزیکی و شیمیایی (یک مدل بیوفیزیکی) است استفاده می‌کند و چه به سادگی از یک مدل که یک رابطه ورودی و خروجی (یک مدل جعبه سیاه) را تعریف می‌کند، استفاده می‌کند مدل فرضی ماهیت کاهش نویز (سر و صدا) یا استخراج ویژگی‌هایی که انجام می‌شود را شناسایی می‌کند.

یادداشت‌های سخنرانی‌هایی که این کتاب را شکل داده اند برای دوره‌هایی که بنده در IIT-Bombay در رابطه با پردازش سیگنال و مدل سازی سیستم‌های فیزیولوژیکی به دانشجویان فارغ التحصیل در مهندسی زیست پزشکی تدریس میکردم، نوشته شده بودند.

این دوره‌ها در طول سال‌ها تکامل یافته‌اند و در حال حاضر آنها بیش از $\frac{1}{2}$ ترم در دو دوره به نام سیگنال‌ها و سیستم‌ها ($\frac{1}{2}$ ترم) و مدلسازی سیستم‌های فیزیولوژیکی (۱ ترم) تدریس می‌شوند.

این کلاس‌ها برای دانشجویانی با مدرک مهندسی اند که درحد دانشجویانی با مدرک پزشکی می‌باشند

بنابراین، چیزهایی از یک چالش برای شکل دادن به دوره‌هایی بود که تمام دانشجویان آن را به اندازه کافی جذاب ببابند.

هدف از این دوره این است که به دانشجویان تجزیه و تحلیل سیگنال‌های فیزیولوژیکی را همراه با درک صریح و روشنی از مدل مفهومی اساسی معرفی کنند.

هدف قابل سنجش دوره این است که ببینیم دانشجویان می‌توانند، یک مقاله معمولی منتشر شده در مجله‌های استاندارد مهندسی زیست پزشکی را بخوانند. اگر چه تعدادی کتاب در زمینه پردازش سیگنال، از جمله تعدادی در زمینه پردازش سیگنال زیست پزشکی، موجود

است، متوجه شدم که هیچ کتاب و یا حتی مجموعه کوچکی از کتاب‌هایی که در این دوره تدریس می‌شوند رضایت بخش نیستند. راه حل بنده استفاده از چندین کتاب به عنوان متون مرجع همراه با یادداشت‌های سخنرانی و مقالات مجله‌ای بود؛ تمرینات برنامه‌نویسی دقیق اطمینان می‌داد که درک دانشجویان از مواد کاملاً تثبیت شده بود. در در اواسط دهه ۱۹۹۰ شاهد انتشار چندین کتاب درباره "پردازش سیگنال زیست پزشکی" بودیم. با این حال، این کتاب‌ها با موضوع به عنوان یک تخصص در پردازش سیگنال و ارتباطات الکترونیک رفتار کردند، که در نظر بنده نتوانست به تاکید بر اهمیت مبتنی بر تفسیر داده مدل-پایه‌ای که اصل پروژه مهندسی زیست پزشکی به عنوان مطالعه میان رشته‌ای است، بپردازد.

بنابراین، یادداشت‌های نطق‌های بنده همراه با پیشرفت موضوع رشد داشته اند. پس از شروع کردن با معرفی گسترده‌ای از سیگنال‌ها و سیستم‌ها این کتاب در ادامه به روش‌های معاصر در پردازش سیگنال‌های دیجیتال می‌پردازد.

در حالی که تداوم مفاهیم ریاضی حفظ می‌شود، تاکید بر اجرای عملی و برنامه‌های کاربردی است.

فرضیات این کتاب فقط بر روی دانش ریاضیات دانشگاهی دلالت می‌کنند و برای یک مبتدی در این موضوع مناسب می‌باشد؛ با این حال، یک دانشجو با گذراندن یک پیش دوره‌ای از پردازش سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال متوجه خواهد شد که کمتر از یک سوم از این کتاب شامل یک بحث ساده از پردازش سیگنال کلاسیک می‌باشد. بسیاری از این نمونه‌ها و مدل‌ها از روی علاقه شخصی بنده در بحث فیزیولوژی ماهیچه‌های اسکلتی و الکتروفیزیولوژی بیان شده اند. بعضی از مدل سازی‌های فعالیت عضلات و ماهیچه‌های برقی از داده‌های جمع آوری شده در کار تجربی بنده وجود آمده‌اند.

بنده نیز بر روی مدل‌های انتخابی دیگر سیستم‌های فیزیولوژیکی ذکر شده در این نوشته مدلسازی‌ها را گسترش داده‌ام تا انواع غنی و مختلفی از تکنیک‌های تجربی و تحلیلی مورد استفاده در مطالعه سیستم‌های فیزیولوژیکی را به دانشجویان معرفی کنم.

تشکر و قدردانی

اولین نسخه از این کتاب زمانی که بنده در دانشگاه فنی (IIT- بمبئی) تدریس می‌کردم، نوشته شده بود، در حالی که نسخه دوم آن زمانی که در یک دانشکده پزشکی (CMC- ولور) در حال تدریس بودم نوشته شده است. اگر چه در این دو موسسه بنده در مقطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی ترکیبی از کلاس‌های دانشجویان مهندسی و دانشجویان پزشکی را درس می‌دادم، ویژگی‌های اصلی این دو موسسه بر روی ماهیت این کلاس‌ها تاثیر گذاشته است، و متقابلاً، نسخه دوم بازتاب قابل توجهی از همکاری همکاران و دانش‌آموزان فیزیولوژی و پزشکی می‌باشد.

از خوش شانس بنده بود که با هر دو این نهادها در ارتباط باشم که به طور استثنای در هند یک تعهد عمیق به کار میان رشته‌ای داشته و کارهای بسیاری جهت پرورش مهندسی زیست پزشکی انجام داده اند.

این کتاب مدیون و وام‌دار همکاران در بخش فیزیولوژی، طب فیزیکی و توانبخشی (PMR) و علوم عصبی در دانشکده پزشکی مسیحی، Vellore است.

اولین و مهمترین آن‌ها دکتر Prakasa Rao و دکتر Suranjan Bhattacharji هستند که برای اولین بار پیشنهاد یک سری سخنرانی درباره‌ی سنجش‌های فیزیولوژیکی، ابزار دقیق، و پردازش سیگنال را دادند و این‌ها بعدها به سخنرانی‌های منظم و مازول‌های آزمایشگاهی توسعه یافتند.

فصل‌های مربوط به عضلات، کنترل موتور و EMG بسیار مدیون بحث و گفتگو با Suranjan و همکارانش در PMR است. همچنین با تشکر از Ashish Macaden, Tharion, Henry Prakash, George و Jacob George در PMR برای بسیاری از بحث‌های لذت بخشی که در مورد این موضوع انجام شد؛ و بسیاری دیگر که در بسیاری از روش‌های ظریف کمک قابل توجه‌ای کردند.

فصل مربوط به EMG و شبیه سازی تا حد زیادی مرهون بحث با Mathew Alexander در علوم عصبی است. بحث بنده با ایشان یک سرچشمه لذت و بینش بزرگ بوده است. بنده مدیون Srinivasa Babu برای بسیاری از پیشنهادات برجسته در فصل کنترل عصبی عضلانی و تحریک اعصاب هستم. تشویق‌های ایشان در بسیاری از شبیه سازی‌های کامپیوتری بسیار مهم بوده است. فصل‌های مربوط به اندازه‌گیری سیگنال و فیلتر نیز بسیار مرهون پیشنهادات و انتقادات ایشان است.

فصل مربوط به تحریک عصب و نوسانات کانال مرهون بحث‌های بسیاری با Sathya Subramani است و فصل مربوط به شلیک عصبی و شبیه سازی‌های مرتبط مرهون بحث و مذاکره با Renu Tharion در نوسان ضربان قلب می‌باشد. بسیاری از اعضای هیئت علمی و دانشجویان فیزیولوژی بحث‌های با ارزش و انتقادات مهمی ارائه دادند. در آن میان Anand Bhaskar و Vinay Oommen جایگاه ویژه‌ای دارند.

دانشجویان ارشد مهندسی زیست نظرات بسیاری ارزشمندی در کلاس‌ها ارائه دادند. فصل مربوط به تحریک خارجی اعصاب از بحث و مذاکره بسیار با Syrpailyne Wankhar که خود بر روی تحریکات مغناطیسی فعالیت می‌کرد و همچنین کارهم زمان از Vikas Patel به تقریر کشیده شد. بحث و گفتگو با N.R. Prabhav درباره‌ی EMG و پردازش سیگنال و با Rajdeep Ojha درباره‌ی ابزار دقیق، مدل سازی فیزیولوژیکی و تقریباً بسیاری از مباحث دیگر بخش‌های مختلف این کتاب را شکل داده است. بسیاری از دانشجویان فارغ التحصیل در کارشناسی ارشد و دکترا در مهندسی زیستی و دستگاه‌های مهندسی بالینی / پزشکی به طرق مختلف در بحث و انتقاد سازنده کمک کرده‌اند.

بسیاری از همکاران که در بالا نام برده شدند استادان ارشدند که با وجود سنگینی کار بالینی و مسئولیت‌های دپارتمان همیشه زمانی را برای بحث‌های علمی و آزمایشی اختصاص دادند. این تا اندازه زیادی ناشی از توجه به فضای فوق‌العاده‌ی کاری در کالج پزشکی مسیحی، Vellore و عدم وجود بوروکراسی است که دلیل شکوفایی فعالیت‌های میان رشته‌ای در این جاست.

بنده مدیون و قدردان بسیاری از همکاران خود در دانشگاه Sree Chitra Tirunal برای علوم پزشکی و فناوری، Trivandrum در (SCTIMST-TVM) و موسسه فناوری هند، مدرس (IIT-مدرس) که سه نهاد آغازگر برنامه تحصیلی با CMC-Vellore بودند می‌باشم، زیرا که به عنوان یک راه برای غلبه بر راه حل دوگانگی مهندسی و آموزش پزشکی در هند است.

بنده همچنین سپاس‌گزار حمایت سخاوتمندانه وزارت علوم و فناوری و وزارت بیوتکنولوژی، دولت هند برای تامین مالی آموزش و پژوهش در مهندسی زیستی در CMC-Vellore هستم. با تشکر از Tracy McSheery برای حمایت اولیه بسیار مهم و تشویق برای آغاز این مطالعات.

بنده هم چنین سپاسگزار جامعه بزرگ نرم‌افزاری هستم که بنده را در نوشتن این کتاب یاری نموده‌اند. متن‌های نوشته شده در LYX و لاتکس و همه‌ی برنامه‌ها به زبان جاوا نوشته شده‌اند، چندین محاسبات با استفاده از سایلپ انجام شد، و همه آنها در Linux.Wikipedia

اجرا شده اند و بنده را از انحراف بسیار و مراجعه به کتابخانه نجات دادند و از منحرف شدن بحث ارائه شده جلوگیری کردند.

بنده از خانواده‌ام برای مدارا کردن با من در مقابل شانه خالی کردن هایم از مسئولیت‌های پدری در حین سرگرم بودنم با برنامه نویسی و نگارش سپاس گزارم. از آن‌ها سپاسگزارم برای شور و اشتیاقشان در علم در بسیاری از مواقع و آقا یک منبع بزرگ از لذت و آرامش برای من بوده‌اند. سعی کردم به دنبال اظهارات قدیمی باشم که میگوید اگر یک فرد واقعا چیزی را درک کرده است پس باید قادر به توضیح آن به یک کودک ۶ ساله باشد. بچه‌های من میکا، ماری، و علی زمانی که لذت ساخت یک شبیه ساز عصبی با یک فندک پیزوالکتریک آشپزخانه‌ای را به اشتراک گذاشتند؛ معلوم شد که یک تشویق آموزشی در مورد پتانسیل عمل نسبت به طراحی گرافیکی در یک کامپیوتر بیشتر است

در نهایت، این ادعایی عرفی و منطقی از مسئولیت است. بنده به تنهایی مسئول اشتباهات موجود در این کتاب هستم که مورد اصلاح قرار گرفته‌اند. بنده می‌دانم که برای یک دانشجو وجود هر خطایی در یک کتاب درسی چقدر می‌تواند خسته کننده باشد و صمیمانه امیدوارم که هیچ اشتباه بزرگی وجود نداشته باشد.

فهرست

صفحه

عنوان

۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱ اندازه گیری، آنالیز، مدل سازی و شبیه سازی
۶	۲-۱ نویز و تداخل
۷	۳-۱ مدل سازی سیستم و تحلیل های مبتنی بر مدل
۱۰	۴-۱ شبیه سازی سیستم ها و آزمایش های مجازی
۱۱	۵-۱ ECG به عنوان سنجشی مبتنی بر مدل
۱۴	۶-۱ تمرینات
۱۵	فصل دوم: اندازه گیری سیگنال
۱۵	۱-۲ اندازه گیری فیزیولوژیکی
۱۸	۲-۲ ویژگی های استاتیکی مبدل ها: خطی بودن
۲۲	۳-۲ تداخل و نویز
۲۳	۴-۲ ویژگی های دینامیکی مبدل ها
۲۶	۵-۲ مطالعه موردی اندازه گیری و ورارسانی
۲۷	۶-۲ تمرین
۳۱	فصل سوم: اصول سیگنال ها و سیستم ها
۳۱	۱-۳ سیگنال ها و سیستم های حوزه زمان
۳۵	۲-۳ سیستم های خطی: پاسخ ضربه
۴۴	۳-۳ تجزیه فرکانسی سیگنال ها
۵۶	۴-۳ پاسخ فرکانسی و نمودارهای قطب-صفر
۶۵	۵-۳ سیگنال های تصادفی

۳-۶ تمرین‌ها

۷۰

فصل چهارم: فیلترینگ سیگنال و کنترل سیستم

۱-۴ فیلترهای فرکانسی و فیلترینگ بهینه

۲-۴ فیلترهای استاندارد: LPF, HPF, BPF, BSF

۳-۴ ساخت فیلترهای ساده

۴-۴ میانگین‌گیری جمعی

۵-۴ سیستم‌های کنترل فیدبکی

۶-۴ تمرینات

۷-۴ تمرین برنامه‌نویسی

۱-۷-۴ مقدمه‌ای بر گرافیک برای تحلیل سیگنال

فصل پنجم: سیستم‌های دیجیتالی و گسسته

۱-۵ نمونه برداری

۲-۵ کوانتیزاسیون

۳-۵ روش‌های بازسازی

۴-۵ سیستم‌های گسسته

۵-۵ گسسته سازی سیستم‌ها

۶-۵ تمرین‌ها

۷-۵ تمرین‌های برنامه‌نویسی

۱-۷-۵ کانولوشن گسسته

۲-۷-۵ فیلترینگ دیجیتالی

فصل ششم: پردازش سیگنال‌های گسسته

۱-۶ فیلترینگ دیجیتال و شناسایی سیستم

۲-۶ تبدیل فوریه‌ی گسسته

۱-۲-۶ خلاصه تبدیلات فوریه

۳-۶ طیف توان و تبدیل فوریه زمان کوتاه

- ۱۷۲ ۶-۴ تبدیل موجک
- ۱۸۶ ۶-۵ مدل‌های سری زمانی
- ۱۹۳ ۶-۶ تمرین
- ۱۹۶ ۶-۷ تمرین‌های برنامه نویسی
- ۱۹۶ ۶-۷-۱ تبدیل فوریه گسسته
- ۱۹۷ ۶-۷-۲ اطلاعات درونیابی با استفاده از تبدیل فوریه
- ۱۹۸ ۶-۷-۳ انرژی طیف

فصل هفتم: روش‌های عددی و هندسه در نمودار یک

- ۲۰۱ ۷-۱ مقدمه ای بر شبیه‌سازی‌های کامپیوتری
- ۲۰۲ ۷-۲ نمودار یک کامپیوتری، رسم نمودار
- ۲۰۳ ۷-۳ هندسه‌ی تصاویر (طرح‌های) سه بعدی
- ۲۰۶ ۷-۵ آزمایش‌های مجازی

فصل هشتم: پتانسیل‌های عملکرد عصب

- ۲۱۵ ۸-۱ تحریک و انتشار عصب
- ۲۱۵ ۸-۲ مدل هاجکین-هاکسلی
- ۲۱۹ ۸-۳ آنالیز نوسانات
- ۲۲۸ ۸-۴ انتشار پتانسیل عمل
- ۲۳۳ ۸-۵ شبیه‌سازی پتانسیل عمل
- ۲۳۶ ۸-۶ تمرینات
- ۲۳۸ ۸-۷ تمرینات برنامه نویسی
- ۲۳۹ ۸-۷-۱ مدل هاجکین-هاکسلی

فصل نهم: تحریک خارجی بافت تحریک پذیر

- ۲۴۱ ۹-۱ تحریک اعصاب در بافت
- ۲۴۳ ۹-۲ منحنی‌های قدرت-مدت زمان و به کار گیری
- ۲۴۵ ۹-۳ تحریک الکتریکی
- ۲۵۱ ۹-۴ تحریک مغناطیسی

- ۲۵۵ ۵-۹ روش برخورد در آزمایش نرولوژیکی
- ۲۵۷ ۹-۶ تمرینات

فصل دهم: انقباض ماهیچه‌ای اسکلتی

- ۲۵۹ ۱-۱۰ ساختار و سازماندهی رفتار ماهیچه اسکلتی
- ۲۶۶ ۱-۱۰ مدل میله‌ای محرک
- ۲۷۵ ۱-۱۰ تولید نیرو: مدل هاگسلی
- ۲۸۲ ۱-۱۰ ۴-خطی سازی مدل ماهیچه
- ۲۸۶ ۱-۱۰ ۵-کاربردهای مدل‌سازی ماهیچه اسکلتی
- ۲۸۸ ۱-۱۰ ۶-تمرینات
- ۲۹۰ ۱-۱۰ ۷-تمرین برنامه نویسی
- ۲۹۰ ۱-۱۰ ۱-۷-۱۰ مدل ماهیچه اسکلتی

فصل یازدهم: الکترومیوگرام

- ۲۹۳ ۱-۱۱ ثبت سیگنال‌های میو الکتریک
- ۲۹۶ ۱-۱۱ ۲-تابع انتقال الکترود
- ۳۰۳ ۱-۱۱ ۳-پتانسیل عمل واحد حرکتی
- ۳۱۰ ۱-۱۱ ۴-مدل اختیاری EMG
- ۳۱۳ ۱-۱۱ ۵-تحلیل‌های EMG
- ۳۱۹ ۱-۱۱ ۶-تمرینات
- ۳۲۰ ۱-۱۱ ۷-تمرین برنامه نویسی
- ۳۲۰ ۱-۱۱ ۱-۷-۱۱ EMG مدل

فصل دوازدهم: کنترل عصبی عضلانی

- ۳۲۴ ۱-۱۲ ۱-رفلکس عصبی عضلانی
- ۳۲۸ ۱-۱۲ ۲-واحد جنبش: مفصل دو عضله
- ۳۳۰ ۱-۱۲ ۳-مدل‌سازی رفلکس کنترل جنبش
- ۳۳۶ ۱-۱۲ ۴-آنالیز حرکت
- ۳۳۷ ۱۲-۵ درک آسیب شناسی با استفاده از عصبی عضلانی مدل‌های کنترل

۳۳۸

۱۲-۶ تمرینات

۳۴۱

فصل سیزدهم: تجزیه و تحلیل نرخ تحریک عصبی

۳۴۲

۱-۱۳ انتقال اطلاعات عصبی

۳۴۴

۱۳-۲ ردیف پالس و نظریه‌ی مدولاسیون

۳۵۳

۱۳-۳ برآورد نرخ تحریک

۳۵۹

۱۳-۴ آشکارسازی نقطه‌ی اوج و وامدگردانی

۳۶۳

۱۳-۵ کاربردهای وامدگردان نرخ تحریک

۳۶۵

۱۳-۶ تمرینات

۳۶۷

فصل چهاردهم: پاسخ ایمنی به عفونت

۳۶۷

۱۴-۱ پاسخ ایمنی

۳۶۹

۱۴-۲ مدل خطی سازی شده‌ی پاسخ ایمنی

۳۷۲

۱۴-۳ معادلات سیستم برای پاسخ ایمنی

۳۷۳

۱۴-۴ پایداری

۳۷۴

۱۴-۵ توسعه مدل

۳۷۴

۱۴-۶ تمرینات

۳۷۷

فصل پانزدهم: مدل خطی از جریان خون

۳۷۸

۱-۱۵ سیستم قلبی عروقی

۳۷۹

۲-۱۵ مدلسازی جریان خون

۳۸۱

۳-۱۵ شباهت الکتریکی پارامترهای مایع

۳۸۳

۴-۱۵ مدل گردش کرونر

۳۸۴

۵-۱۵ نرم افزار مدل سازی قلب و عروق

۳۸۶

۶-۱۵ تمرین

۳۸۹

پیوست: اخذ داده‌ها و پردازش سیگنال زمان حقیقی

۳۹۲

آنالیز زمان حقیقی

۳۹۳	برگه‌های راهنمای داده
۳۹۳	توصیف نمایش‌های کامپیوتر
۴۰۳	برای مطالعات بیشتر
۴۰۳	پاسخ تمرینات

www.Ketab.ir