



دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان

منطق فازی، شناسایی و کنترل پیش بین

نویسندگان

جایرو اسپینوزا - ژوس واندی وال - وینسنت ورتز

مترجمین:

دکتر مجید مرادی

(عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان)

اسماعیل بنی سعید

اسپینوسا، جایرو	:	سرشناسه
Espinosa, Jairo	:	عنوان و نام پدیدآور
منطق فازی، شناسایی و کنترل پیش‌بین/نویسندگان جایرو اسپینورا، ژوس	:	مشخصات نشر
واندی‌وال، وینسنت ورتز : مترجمین مجید مرادی، اسماعیل بنی سعید.	:	مشخصات ظاهری
تهران: آرنا، ۱۳۹۶.	:	شابک
۳۹۹ ص.	:	وضعیت فهرست نویسی
978-600-356-626-2	:	یادداشت
فیبا	:	موضوع
عنوان اصلی: Fuzzy logic, identification, and predictive control	:	موضوع
کنترل پیش‌بین	:	موضوع
Predictive control	:	موضوع
سیستم‌های فازی	:	موضوع
Fuzzy systems	:	شناسه افزوده
وانده‌واله، یوس، ۱۹۲۸ - م.	:	شناسه افزوده
(Vandewalle, J. (Joos	:	شناسه افزوده
ورت، وینسان	:	شناسه افزوده
Wertz, Vincent	:	شناسه افزوده
بنی سعید، اسماعیل، ۱۳۵۸ - مترجم	:	شناسه افزوده
مرادی، مجید، ۱۳۶۳ آذر - مترجم	:	رده بندی کنگره
۱۳۹۶ م۵الف/۶/۳۱۷/۴ TJ	:	رده بندی دیویی
۸/۶۳۹	:	شماره کتابشناسی ملی
۳۷۳۷۳۰۱	:	



نشر آرنا

عنوان	:	منطق فازی، شناسایی و کنترل پیش‌بین
مترجمین	:	دکتر مجید مرادی، اسماعیل بنی سعید
ناشر	:	آرنا
چاپ	:	اول ۱۳۹۶
شمارگان	:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت:	:	۲۳۰۰۰ تومان
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۳۵۶-۶۲۶-۲

www.arnapub.com

از زمان ارائه نظریه فازی در سال ۱۹۶۵ پیشرفتهای زیادی در این زمینه صورت گرفته است و کاربران زیادی در زمینه‌های مختلف نظیر پزشکی، مدیریت، علوم رفتاری و غیره از این نظریه بهره گرفته‌اند. استفاده از مجموعه‌های فازی تکنیکهای مختلفی را در بر می‌گیرد مانند خوشه‌سازی فازی در پردازش تصویر، کلاس‌بندی، شناسایی و تشخیص خطا، وارد ساختن دانش تخصصی افراد در سیستمهای کنترل بوسیله کنترلرهای فازی، ترکیب دانش تخصصی و مدل‌سازی فازی و بهینه‌سازی فازی برای حل مسائل طراحی.

سیستمهای فازی در هوش مصنوعی بعنوان راهی برای بیان دانش بکار می‌روند. این نمایش جزئی از عباد و تقابل بین نمایش رفتاری و نمایش ساختاری (شبکه‌های عصبی) می‌باشد. مبنای این مطالب اینست که رفتار هوشمند با استفاده از ساختارهایی قابل دستیابی استفاده است که لزوماً شبیه مغز انسان نیستند.

یک مشخصه بسیار قابل توجه سیستمهای فازی، توانایی آنها در پردازش داده‌های عددی و داده‌های زبانی در یک چارچوب می‌باشد. این ویژگی باعث شده است سیستمهای فازی برای انجام اعمال کنترل تخصصی بسیار مناسب باشند.

این کتاب به دو بخش تقسیم شده است. بخش اول به ساخت مدل‌های فازی استاتیک و دینامیک از داده‌های عددی اختصاص یافته است. این مدل‌ها در زمینه‌هایی مانند استخراج داده‌ها و کنترل سیستمهای دینامیکی اهمیت دارند. بخش دوم کتاب طرز استفاده از مدل‌های مذکور برای طراحی سیستمهای کنترل را نشان می‌دهد. کتاب دارای ۶ فصل و ۵ ضمیمه می‌باشد. فصل اول به مساله تقریب‌زنی توابع و مدل‌سازی اختصاص یافته است. قسمت اول فصل تواناییهای تقریب‌زنی سیستمهای فازی با توابع عریض مثلثی، چندجمله‌ای و گوسی را نشان داده و آنرا بصورت تحلیلی بررسی می‌کند.

در فصل ۲ روشهای مختلف استخراج مدل‌های فازی از داده‌های ورودی-خروجی شامل روشهای کاهش گرادیان، خوشه‌سازی و روشهای تکاملی تشریح شده‌اند. برخی عبارت‌ها برای گرادیان استخراج شده‌اند تا عبارت‌های مورد استفاده برای تنظیم مدل‌های فازی را نمایش دهند. این بخش توسط ضمیمه "ب" تکمیل می‌شود که روشهای اصلی خوشه‌سازی مورد استفاده در مدل‌سازی در آن بیان شده‌اند. بخش دوم فصل به مطالعه مسائل تعمیم و تخمین بخشهای نتیجه قواعد می‌پردازد. روشهای آغازسازی و آموزش بخشهای نتیجه قواعد از

مطالب پراهمیت این فصل هستند. همچنین روشی برای بهبود قابلیت‌های تعمیم مدل‌های فازی با مثال گرافیکی ارائه شده است.

فصل ۳ مفهوم بی‌نقصی زبانی را معرفی کرده و الگوریتمی برای ساخت مدل‌های فازی با معنای زبانی بیان می‌کند. این الگوریتم بخصوص برای اهدافی مانند جستجوی اطلاعات و استخراج داده‌ها اهمیت داشته و AIRRILI (استخراج‌کننده خودمختار قواعد فازی با بی‌نقصی زبانی) نام دارد. الگوریتم مذکور با روشی برای کاهش پیچیدگی مدل‌های فازی (الگوریتم فوزیون) تکمیل می‌شود و چندین مثال از مدلسازی توابع غیرخطی پیچیده، سیستم‌های غیرخطی آشوبی و فرایندهای صنعتی با استفاده از آن نیز ارائه شده‌اند.

فصل ۴ به مساله شناسایی سیستم غیرخطی سیستم‌های دینامیکی با استفاده از مدل‌های فازی اختصاص یافته است. در این فصل از ابزارهای معرفی شده در فصول قبلی به منظور توسعه چارچوب برای شناسایی سیستم بوسیله مدل‌های فازی استفاده شده و فرمول بندی اینکار را آغاز کرد است. ساختار سیستم‌های فازی در این فل تحلیل شده که برای اعمال در شناسایی سیستم مناسب می‌باشند. سپس در مطالعه مساله طراحی آزمایش؛ انواع سیگنال‌های منظور شده برای ایجاد تحریک کافی و تضمین ساختار مناسب مدل ارائه شده‌اند. انتخاب رگرورها بعنوان مدل مساله پیچیده نیز در این کتاب بررسی شده است. روش‌های مهم به همراه مزایا و معایب آنها تحلیل شده‌اند. ساختارهای ممکن مدل‌ها برای سیستم‌های غیرخطی به حساب آورده شده و تحلیل کوتاهی از امکان‌سنجی کاربرد این ساختارها برای شناسایی با استفاده از مدل‌های فازی انجام داده‌ایم. محاسبات پارامترها برای ساختارهای مختلف با فرض کاربرد روش‌های کاهش برادیا با مطالعه شده‌اند. موضوع محاسبه دینامیک گرادیانها مورد تاکید قرار گرفته و در ضمیمه "ج" عبارتهایی برای گرادیانها بدست آورده‌ایم. فصل با بحث کوتاهی درباره اعتبارسنجی به پایان رسیده و عنوان شده است که اعتبارسنجی مدل‌های فازی نه تنها بر اساس معیار کمی بلکه بر اساس معیار کیفی مبتنی بر اطلاعات قواعد زبانی قابل انجام می‌باشد. همچنین مثالی از شناسایی فرایند کوره گازی باکس-جنکینز (مرجع ۱) در این فصل ارائه شده که بیشتر عناصر بیان شده در فصل را شامل می‌شود.

فصل پنج دورنمایی از روش‌های مختلف طراحی شده برای استخراج کنترلر فازی ارائه می‌دهد. روش‌های ارائه شده در این فصل روش‌های را تشریح کرده که با ایده‌های اولیه

بکارگیرنده دانش تخصصی خالص آغاز می‌شوند. سپس بحث روی یک روش بسیار کاربردی یعنی طراحی کنترلرهای فازی شبه-PIID متمرکز شده است. این بخش با تئوری ارائه شده در ضمیمه "د" تکمیل می‌شود. این قضیه تضمین می‌کند که بوسیله کنترلر فازی می‌توان هر کنترلر خطی گسسته را بازسازی کرد. از این خصوصیت برای آغازسازی کنترلرهای فازی استفاده می‌شود بطوری که عملکرد اولیه آنها (قبل از تنظیم) حداقل به خوبی عملکرد کنترلر خطی داده شده باشد. سپس دورنمای ارائه شده در این فصل روی روشهای کنترل تطبیقی با استفاده از مدل‌های فازی متمرکز می‌شود. یادگیری معکوس و مستقیم دو روش مطالعه شده در این بخش هستند. سپس به روشهای مبتنی بر ترکیب مستقیم پرداخته شده و روش خلی‌سازی فیدبکی ارائه شده است که در آن مدل‌های بکار رفته برای خطی-سازی سیستم محدود، مدل‌های فازی هستند. معایب اصلی این روش تحلیل شده و روش کنترل فازی مدلهای بعنوان راه‌حل معرفی شده است. در نهایت با بررسی روش برنامه-ریزی بهره فازی فصل ۱۰ پایان می‌رسد. مزایای روش شامل وجود راهکارهایی برای طراحی مستقیم کنترلرهای پایدار و ازهم‌ایستایی آنها مورد بحث قرار گرفته است. این بخش با یک مثال صنعتی در ضمیمه "ه" تکمیل می‌شود که در آن یک کنترل‌کننده برنامه‌ریز فازی پایدار برای یک سیستم انتقال متغیر به واسطه قدرت در خودرو طراحی شده است.

فصل‌های ۶ و ۷ به استخراج کنترل‌کننده‌های پیش‌بین مبتنی بر مدل اختصاص یافته‌اند. فصل ۶ با ساده‌ترین ایده کنترل فازی پیش‌بین عین‌مقید آغاز می‌شود. این مساله فرمول‌بندی شده و روشی برای ساده‌سازی مساله به برنامه‌ریزی طرح دوم ارائه می‌دهد. این روش شامل فرمول‌بندی پیش‌بینی‌کننده بر اساس مفهوم پاسخ آزاد و پاسخ اجباری است که روش بهبود تخمین پاسخ اجباری نیز در این فصل بیان شده است. یک مثال کاربردی از اعمال استراتژی کنترل به راکتور مخزن پیوسته دارای همزن (CSTR) در فصل موجود بوده و نشان داده شده است که عملکرد آن کاملاً شبیه بهینه‌ترین استراتژی می‌باشد. بخش دوم فصل ۶ به مطالعه مساله کنترل پیش‌بین مقید پرداخته و سه الگوریتم مختلف بیان شده‌اند که از اطلاعات فراهم شده بوسیله انواع مختلف مدل‌های فازی دینامیک استفاده می‌کنند. این فصل با مثالی از اعمال روشهای کنترل به مدل مولد بخار نیروگاه و راکتور پلیمریزاسیون فاز گازی در فرایند تولید پلی‌اتیلن به پایان می‌رسد. استراتژیها با روش کنترل پیش‌بین خطی کلاسیک مقایسه شده و بهبود عملکرد به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.

مفاهیم فصل ۶ بصورتی جدید در فصل ۷ توسعه داده شده‌اند. مساله کنترل پیش‌بین غیرخطی مقاوم بر مبنای مدل‌های فازی بررسی شده و فصل با فرمول‌بندی این مساله آغاز می‌شود. سپس مساله به برنامه‌ریزی درجه دوم مقاوم ساده‌سازی می‌شود. مساله درجه دوم مقاوم با فرمول‌بندی جدید بیان شده در این کتاب بصورت مساله مخروطی مرتبه دوم نوشته شده است. پیچیدگی محاسباتی از جمله مزایای استفاده از این الگوریتم‌ها می‌باشد. استفاده از این روش‌های بهینه‌سازی مقاوم تضمین می‌کند که کیفیت کار با وجود عدم تطابق مدل‌ها یا خطاهای خطی‌سازی ایجاد شده بوسیله الگوریتم کنترل از مقدار حداقل مشخصی کمتر نشود. فصل با ارائه لیستی از روش‌های موجود برای توصیف نامعینی (عدم قطعیت) مدل‌ها به پایان می‌رسد. در نهایت فصل ۸ مطالب اصلی کتاب را خلاصه کرده و مشکلات حل نشده را برای محققان بازگو می‌کند. کتاب همچنین مشتمل بر پنج ضمیمه است. دو ضمیمه اول مبنای عملیات مجموعه‌های فازی و خوشه‌سازی را بیان می‌کنند و سه ضمیمه آخر ادامه مطالب فصل‌ها هستند. در انتهای هر بخش خلاصه‌ای از مطالب آن آورده شده‌اند که با داشتن ایده‌های اصلی خواننده را هدایت کرده و درک مطالب و اهداف هر بخش را ساده می‌سازند. مطالب کتاب در سطحی بسته شده‌اند که برای استفاده در مقطع کارشناسی در مورد کاربردهای سیستم‌های فازی در استخراج داده‌ها، مدل‌سازی غیرخطی و کنترل مناسب هستند. ایده‌های جدیدی در کتاب مورد بحث قرار گرفته و بینش جدیدی در مورد مطالب ایجاد شده است بطوری که کتاب به یک منبع ارزشمند برای محققین در زمینه‌های هوش مصنوعی، استخراج داده‌ها، مدل‌سازی و کنترل تبدیل شده است. مثال‌های واقعی ارائه شده که با موفقیت، بخصوص در زمینه مانیتورینگ و کنترل فرایندهای شیمیایی و بهره‌برداری نفتی، بکار گرفته شده‌اند فرصت خوبی برای افراد شاغل در صنعت ایجاد می‌کنند تا این تکنولوژیهای جدید را ارزیابی کنند.

جایرو اسپینوزا

ژوس واندی‌وال

وینسنت ورتز

لیوون-بلژیک

ژانویه ۲۰۰۵

فهرست مطالب

بخش اول مدل سازی فازی

فصل اول مدل سازی فازی

۱۷	تقریب زنی تابع	۱-۱
۱۷	توصیف سیستم	۱-۱-۱
۱۸	خطای تقریب زنی	۱-۱-۲
۲۲	واحدهای سازنده در مدل های فازی	۱-۱-۳
۲۲	توانمهای تقریب زنی مدل های فازی تاکاگی-سوگنو	۱-۲
۳۴	نتیجه گیری خلاصه	۱-۳

فصل دوم : استخراج مدل های فازی از داده های ورودی-خروجی

۳۷	طرح موزائیک ورودی-خروجی	۲-۱
۴۰	مثال تشریحی	۲-۱-۱
۴۳	استفاده از کاهش گرادیان	۲-۲
۴۵	بروزرسانی گرادیان برای توابع عضویت ذوزنقه ای	۲-۲-۱
۴۶	بروزرسانی گرادیان برای توابع عضویت مثلثی با همپوشانی ۰/۵	۲-۲-۲
۴۸	بروزرسانی گرادیان برای توابع عضویت چندمحمه ای	۲-۲-۳
۴۹	بروزرسانی گرادیان برای توابع عضویت چندمحمه ای با همپوشانی ۰/۵	۲-۲-۴
۵۰	بروزرسانی گرادیان برای توابع عضویت گوسی	۲-۲-۵
۵۱	مثال تشریحی	۲-۲-۶
۵۴	استفاده از خوشه سازی و کاهش گرادیان	۲-۳
۵۵	الگوریتم مربوط به مدل های ممدانی	۲-۳-۱
۵۶	الگوریتم مربوط به مدل های تاکاگی-سوگنو	۲-۳-۲
۵۷	مثال تشریحی	۲-۳-۳
۶۱	استفاده از استراتژی های تکاملی	۲-۴
۶۴	تخمین بخشهای نتیجه و قابلیت تعمیم	۲-۵
۶۵	تعیین وضعیت اولیه بخشهای نتیجه	۲-۵-۱
۶۶	برآورد بخشهای نتیجه قواعد	۲-۵-۲
۷۰	نمونه ای از کاربرد صنعتی	۲-۶
۷۳	نتیجه گیری	۲-۷

فصل سوم: ساخت مدل فازی با استفاده از بی‌نقصی زبانی: ابزاری برای استخراج اطلاعات

۷۴	مقدمه	۳-۱
۷۷	ساختار مدل فازی	۳-۲
۷۹	الگوریتم AFRELI	۳-۳
۸۴	الگوریتم فوزیون (FuZion)	۳-۴
۸۸	مثال‌ها	۳-۵
۸۸	مدل‌سازی یک تابع غیرخطی دو ورودی	۳ ۵ ۱
۹۵	مدل‌سازی یک تابع غیرخطی دارای سه ورودی	۳-۵ ۲
۹۸	پیش‌بینی سری زمانی بی‌نظم	۳ ۵ ۳
۱۰۳	مدل‌سازی ویژگی‌های کیفی روی راکتور پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE)	۳ ۵ ۴
۱۰۷	پیش‌بینی الگو AFRELI	۳-۶
۱۰۸	نتیجه‌گیری	۳ ۷

فصل چهارم: شناسایی غیرخطی با استفاده از سیستم‌های فازی

۱۱۲	شناسایی سیستم	۴-۱
۱۱۳	ساختار اولیه سیستم فازی	۴-۲
۱۱۶	طراحی آزمایش‌ها برای شناسایی سیستم	۴ ۳
۱۱۹	انتخاب رگرسورها	۴ ۴
۱۱۹	روش‌های جستجو	۴ ۴-۱
۱۲۳	ارزیابی رگرسورها	۴ ۴ ۲
۱۲۷	انتخاب ساختار	۴ ۵
۱۲۹	محاسبه پارامترها	۴ ۶
۱۳۱	اعتبارسنجی	۴ ۷
۱۳۳	مثال: شناسایی مجموعه داده‌های کوره گازی باکس-جنکینز	۴-۸
۱۴۲	شناسایی مدل‌های فازی تاکاگی-سوگنو با استفاده از شناسایی خطی محلی	۴ ۹
۱۴۳	نتیجه‌گیری	۴ ۱۰

کنترل فازی

بخش دوم

فصل پنجم: کنترل فازی

۱۴۶	کنترل فازی بدون مدل	۵-۱
-----	---------------------	-----

۱۴۶	طراحی بروش سعی و خطای اینکاری	۵-۱-۱
۱۴۷	طراحی کنترل کننده های شبه PID	۵-۱-۲
۱۵۲	کنترل فازی مبتنی بر مدل	۵-۲
۱۵۳	استفاده از روش های تطبیقی	۵-۲-۱
۱۵۸	استفاده از ترکیب مستقیم	۵-۲-۲
۱۷۵	نتایج و چشم انداز آینده	۵-۳
فصل ششم: کنترل پیش بین بر اساس مدل های فازی		
۱۷۹	استراتژی کنترل پیش بین	۶-۱
۱۸۱	کنترل پیش بین غیر خطی غیرمقید	۶-۲
۱۸۵	تخمین پاسخ پله به منظور تشکیل $\hat{G}(t)$	۶-۲-۱
۱۸۶	مثال کنترل پیش بین CSTR با استفاده از مدل فازی	۶-۲-۲
۱۹۴	کنترل پیش بین غیر خطی مقید	۶-۳
۱۹۵	مسئله کنترل پیش بین مقید غیر خطی	۶-۳-۱
۲۰۱	روشی با استفاده از پاسخ پله تخمین زده شده	۶-۳-۲
۲۰۶	روشی با استفاده از مدل های فازی تاکاگی-سوگنو	۶-۳-۳
۲۰۸	روشی با استفاده از مدل های فازی تاکاگی-سوگنو و مدل های چندگانه در پیش بینی کننده	۶-۳-۴
۲۱۱	مثال کنترل پیش بین برای یک ژنراتور فشار با استفاده از مدل فازی	۶-۳-۵
۲۲۲	کنترل پیش بین غیر خطی مربوط به یک راننده پل اتیلن با چگالی بالا در فاز گازی (HDPF)	۶-۳-۶
۲۲۵	نتایج	۶-۴
فصل هفتم: کنترل غیر خطی پیش بین مقاوم با استفاده از مدل های فازی		
۲۲۸	مقدمه	۷-۱
۲۳۰	برنامهریزی مقاوم مربعی	۷-۲
۲۳۲	توصیف مساله	۷-۳
۲۳۳	جواب نامی	۷-۴
۲۳۵	فرمول بندی مساله کنترل پیش بین بعنوان مساله مقاوم مربعی	۷-۵
۲۳۷	الگوریتم کنترل	۷-۶
۲۳۷	توصیف نامعینی در مدل های فازی	۷-۷
۲۳۷	نامعینی محلی توصیف شده در هر قاعده	۷-۷-۱
۲۳۸	استفاده از قواعد فعال	۷-۷-۲

۲۳۹	با استفاده از همه قواعد	۷۷۳
۲۴۰	استفاده از مجموعه قابل دسترسی	۷۷۴
۲۴۱	نتایج و چشم اندازها	۷۸
	فصل هشتم: نتایج و چشم اندازهای آینده	
۲۴۲	نتایج و خلاصه‌ها	۸۱
۲۴۷	چشم اندازها و کار آینده	۸۰۲

بخش سوم ضمایم

	ضمیمه A	
۲۵۰	۸-۱ مقدمه	
۲۵۰	۸-۲ مجموعه‌های فازی	
۲۵۱	۸-۲-۱ تعدادی مثال در مورد توابع عضویت	
۲۵۱	۸-۳ تعریف‌های اولیه در مجموعه‌های فازی	
۲۵۱	۸-۳-۱ تکیه‌گاه	
۲۵۱	۸-۳-۲ هسته	
۲۵۱	۸-۳-۳ ارتفاع	
۲۵۲	۸-۳-۴ مجموعه فازی نرمال	
۲۵۲	۸-۳-۵ برش α	
۲۵۲	۸-۳-۶ برش کامل α	
۲۵۲	۸-۳-۷ تحدب	
۲۵۲	۸-۴ عملیات روی مجموعه‌های فازی	
۲۵۲	۸-۴-۱ در بر گرفته شدن A به وسیله B	
۲۵۲	۸-۴-۲ متمم، منفی‌سازی	
۲۵۳	۸-۴-۳ تقاطع (اشتراک)	
۲۵۳	۸-۴-۴ اجتماع	
۲۵۴	۸-۵ رابطه‌ها (نسبت‌های) فازی	
۲۵۵	۸-۵-۱ تصویر رابطه‌های فازی	
۲۵۵	۸-۵-۲ ترکیب رابطه‌ها	
۲۵۶	۸-۶ استدلال تقریبی	
۲۵۶	۸-۶-۱ مقدمه	

۲۵۶	متغیرهای زبانی	A-۶-۲
۲۵۷	ساختار کلی سیستم استنتاج فازی	A-۷
۲۵۷	قواعد کنترل به عنوان نمایش دانش (اطلاعات)	A-۷-۱
۲۵۹	غیرفازی سازی	A-۷-۲
	ضمیمه B: روش‌های خوشه‌سازی	
۲۶۱	میانگین‌های C' فازی	B-۱
۲۶۳	استفاده از ماتریس کوواریانس فازی: الگوریتم گوستافسون - کسل	B-۲
۲۶۵	خوشه‌سازی کوهی	B-۳
	ضمیمه C: عبارات گرادیان به کار رفته در شناسایی با مدل‌های فازی	
۲۶۷	گرادیان بخش‌های نتیجه منفرد	C-۱
۲۶۸	توابع عضویت دوزنقه‌ای	C-۱-۱
۲۶۹	توابع عضویت چندجمله‌ای	C-۱-۲
۲۷۰	توابع عضویت گوسی	C-۱-۳
۲۷۰	گرادیان پارامترهای توابع عضویت	C-۲
۲۷۱	در توابع عضویت دوزنقه‌ای	C-۲-۱
۲۷۲	در توابع عضویت چندجمله‌ای	C-۲-۲
۲۷۵	در توابع عضویت گوسی	C-۲-۳
۲۷۶	در توابع عضویت مثلثی با هنجارهای ۰/۵	C-۲-۴
۲۷۸	در توابع عضویت چندجمله‌ای با هنجارهای ۰/۵	C-۲-۵
	ضمیمه D: قضیه تقریب‌زنی سیستم دینامیکی خطی	
۲۸۲	قضیه	D-۱
	ضمیمه E: کنترل فازی برای انتقال متغیر پیوسته (قدرت)	
۲۸۵	مقدمه و توصیف فرایند	E-۱
۲۸۷	مشخصه‌های عملکرد	E-۲
۲۸۷	مدل فیزیکی CVT	E-۳
۲۸۹	طراحی کنترلر	E-۴
۲۹۱	تحلیل پایداری	E-۵
۲۹۲	نتایج	E-۶
۲۹۴	مراجع	