به نام خدا

۱۱۳۳۱۸
دو

۸۷/۱/۱۰/۸۵۱۹
۸۷-۱۳۰

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

درستی یابی در سطح RT

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- گرایش
معماری کامپیوتر

لیلا محرابی

استاد راهنما
دکتر مقصود عباسپور

تابستان ۱۳۸۷

۱۳۸۸/۱/۲۱

۱۱۳۳۱۸

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- گرایش معماری کامپیوتر

تحت عنوان:

درستی یابی در سطح RT

در تاریخ ۸۷/۶/۲۶ پایان نامه دانشجو، لیلا محرابی، توسط کمیته تخصصی داوران مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنما اول:	دکتر عباسپور	امضاء
۲- استاد داور (داخلی)	دکتر عشقی	امضاء
۳- استاد داور (خارجی)	دکتر صفری	امضاء
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر ترکمنی آذر	امضاء

تقدیر و تشکر

در ابتدا بر خود لازم می دانم از استاد فرزانه و گرانقدرم دکتر مقصود عباسپور که در کلیه مراحل انجام این پروژه مرا یاری و حمایت کردند، تشکر و قدردانی نمایم. از اساتید ارجمندم دکتر عشقی و دکتر صفری به پاس نظرات سازنده و موثرشان و از دوست عزیزم خانم یاسمن سامعی که زحمت پیاده سازی نرم افزاری قسمتهایی از طرح را بر عهده گرفتند، کمال تشکر را دارم. از خانواده عزیزم که زمینه تحصیل مرا تا این مقطع فراهم آورده اند و همچنین از کلیه دوستان و همکارانم که با صبر و حوصله خویش در بسیاری از مراحل انجام پروژه راهگشایم بودند، قدردانی می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی

می باشد.

به نام خدا

نام ونام خانوادگی: لیلا محرابی
عنوان پایان نامه: درستی یابی در سطح RT
استاد/اساتید راهنما: دکتر مقصود عباسپور

اینجانب لیلا محرابی تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد/دکتری حاضر خود را ملزم به حفظ امانت داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون Copyright می دانم. بدین وسیله اعلام می نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال؛ جداول، و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانتداری را به صورت کامل رعایت نموده ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می باشد.

نام ونام خانوادگی دانشجو: لیلا محرابی

امضاء وتاریخ:

تقدیم

به **مادرم** که بودنش برایم یعنی زندگی

به **پدرم**، استوارترین تکیه گاهم

به **برادرم**، بهترین رفیق و هم زبانم

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: بررسی روشهای مختلف درستی یابی ۵

۲-۱) روشهای شبیه سازی ۶

۲-۱-۲) بهبود محرکها ۷

۲-۱-۳) بهبود ناظر ۸

۲-۱-۴) روشهای تسریع ۹

۲-۱-۵) روشهای مدل کردن ۹

۲-۲) روشهای درستی یابی صوری ۱۰

۲-۲-۱) مثالی برای مقایسه روشهای صوری و شبیه سازی ۱۰

۲-۳) روش بررسی تساوی ۱۲

۲-۳-۱) بررسی تساوی ترکیبی ۱۳

۲-۳-۱-۲) روش BDD تجزیه شده ۱۳

۲-۳-۲) بررسی تساوی ترتیبی ۱۴

۲-۳-۳) معایب روش بررسی تساوی ۱۷

۲-۴) روش بررسی مدل ۱۸

۲-۴-۱) منطق موقتی ۱۹

۲-۴-۲) چالشهای روش بررسی مدل ۲۲

۲-۴-۳) معایب روش بررسی مدل ۲۳

۲-۵) روش اثبات قضیه ۲۳

۲-۶) معایب روشهای درستی یابی صوری ۲۵

۲-۷) بهبود روشهای درستی یابی صوری ۲۶

۲-۸) روشهای شبه صوری ۲۶

۲-۹) معیارهای ارزیابی برای روشهای درستی یابی ۲۷

۲-۱۰)درستی یابی در سطح کلمه..... ۲۸
۲-۱۰-۱) دیاگرامهای سطح کلمه..... ۲۹
۲-۱۰-۲) درستی یابی مدارات حسابی در سطح کلمه..... ۳۱
۲-۱۱) خلاصه فصل..... ۳۳

فصل سوم: مقدمه ای بر سیستم سه مقداره و روشهای درستی یابی مبتنی بر آن ۳۴
۳-۱) سیستم سه مقداره..... ۳۵
۳-۲) تعریف ریاضی سیستم سه مقداره..... ۳۶
۳-۳) روش ارزیابی مسیر نمادین..... ۳۸
۳-۳-۱) شبیه سازی سه مقداره..... ۴۰
۳-۳-۲) شبیه سازی نمادین ۴۱
۳-۳-۳) شبیه سازی نمادین سه مقداره..... ۴۲
۳-۳-۴) گم گشتگی اطلاعات..... ۴۴
۳-۴) خلاصه فصل..... ۴۶

فصل چهارم: روش بررسی تساوی سه مقداره..... ۴۷
۴-۱) شرح کلی روش بررسی تساوی سه مقداره..... ۴۸
۴-۲) ایندکس گذاری نمادین..... ۴۸
۴-۳) الگوریتم ریل دوتایی..... ۴۸
۴-۴) مثالهایی برای بررسی روش..... ۴۹
۴-۵) مزایا و چالشهای طرح..... ۵۲
۴-۶) الگوریتم پیشنهادی برای روشبررسی تساوی سه مقداره..... ۵۳
۴-۸) نمایش مدارات حسابی با استفاده از روش بررسی تساوی سه مقداره..... ۵۳
۴-۸-۱) مروری بر نمایش مدارات حسابی در سطح کلمه..... ۵۳

۴-۸-۲) نمایش ضرب کننده با استفاده از روش بررسی تساوی سه مقداره..... ۵۵
۴-۹) جمع بندی..... ۵۶
فصل پنجم: درستی یابی مسیرداده با استفاده از یک روش مهندسی معکوس..... ۵۷
۵-۱) مقدمه..... ۵۸
۵-۲) بررسی کلی طرح..... ۵۹
۵-۳) الگوریتم تشکیل گراف وابستگی داده..... ۶۰
۵-۴) تشریح روش با استفاده از یک مثال..... ۶۰
۵-۵) جمع بندی..... ۶۶

فصل ششم: نتایج و شبیه سازیها..... ۶۷
۶-۱) نتایج و شبیه سازیهای فصل چهارم..... ۶۸
۶-۱-۱) جریان کلی برنامه..... ۶۸
۶-۱-۲) توابع استفاده شده..... ۶۹
۶-۱-۴) بررسی زمان..... ۶۹
۶-۱-۵) بررسی حافظه..... ۷۰
۶-۱-۶) نتایج عملی و کارهای آینده..... ۷۱
۶-۲) نتایج و شبیه سازیهای فصل پنجم..... ۷۲
۶-۲-۱) جریان کلی برنامه و توابع مورد استفاده..... ۷۲
۶-۲-۲) نتایج عملی و کارهای آینده..... ۷۴
۶-۳) خلاصه فصل..... ۷۴

پیوست الف) پیشینه ریاضی..... ۷۵
۱) نمودار تصمیم دودویی دودویی..... ۷۶
۱-۱) ترتیب ظهور متغیرها..... ۷۶

۱-۲) قوانین کاهش در BDD ۷۶
۱-۳) مثالی برای تشکیل BDD ۷۷
۱-۴) تبدیل مدار به BDD ۷۹
۱-۵) معایب BDD ۸۰
۲) آنالیز ارضا(SAT Analysis) ۸۰
۲-۱) بررسی آنالیز ارضا با چند مثال ۸۱
۲-۲) به دست آوردن کلازها برای مدارات منطقی ۸۲
۲-۳) حل یک مدار با استفاده از SAT ۸۲

منابع و مراجع ۸۳

فهرست شکلها

شکل ۱-۱) مفهوم درستی یابی ۲
شکل۲-۱) محیط شبیه سازی..... ۶
شکل۲-۲) بهبود شبیه سازی با استفاده از بازخورد پوشش..... ۷
شکل ۲-۳) نمایش گرافیکی اجرای مدل..... ۹
شکل۲-۴) مثال بررسی روشهای صوری و شبیه سازی..... ۱۱
شکل۲-۵) بررسی تساوی ترکیبی..... ۱۳
شکل۲-۶) روش اول بررسی تساوی ترتیبی..... ۱۶
شکل۲-۷) روش دوم بررسی تساوی ترتیبی..... ۱۷
شکل۲-۸) روش سوم بررسی تساوی ترتیبی..... ۱۸
شکل۲-۹) روش سوم بررسی تساوی ترتیبی با نمایش حالتها..... ۱۸
شکل ۲-۱۰) بررسی مدل..... ۱۹
شکل۲-۱۱) فلیپ فلاپ D ۲۰
شکل۲-۱۲) مثالی از یک درخت محاسباتی..... ۲۱
شکل۲-۱۳) درخت محاسباتی..... ۲۲
شکل۲-۱۴) مثالی برای عملگرهای*CTL ۲۳
شکل۲-۱۵) مفهوم کلی روش اثبات قضیه..... ۲۶
شکل۲-۱۶) یک معکوس کننده cmos ۲۷
شکل۲-۱۷) نمایش BMD* برای اعداد صحیح..... ۳۳
شکل۲-۱۸) نمایش سطح کلمه برای توابع صحیح با BMD*..... ۳۳
شکل۲-۱۹) نمایش BMD* برای توابع دودویی..... ۳۴
شکل۲-۲۰) فرموله سازی مساله درستی یابی در سطح کلمه..... ۳۴
شکل۳-۱) مجموعه جبری در سیستم سه مقداره..... ۴۰
شکل۳-۲) گیت AND هفت ورودی..... ۴۲
شکل۳-۳) گسترش سه مقداره گیتها..... ۴۳
شکل۳-۴) یک انتخابگر داده..... ۴۷
شکل۴-۱)مدار[out=ab+ac] ۵۴
شکل۴-۲) مدار[out=(b+c).a] ۵۴
شکل۴-۳) تابع xor که با روشهای معمولی بررسی تساوی،درستی یابی شده است..... ۵۵
شکل۴-۴) تابع XOR با استفاده از گیتهای AND وOR ۵۶
شکل۴-۵) تابع XOR با استفاده از گیتهای OR وNAND ۵۶
شکل۴-۶) نمایش عمل ضرب در سطح کلمه و با استفاده از BMD* ۵۹
شکل۵-۱) مسیرداده ۱ مربوط به مثال..... ۶۶
شکل۵-۲) نمودار کنترل حالت مربوط به مسیرداده ۱..... ۶۷
شکل۵-۳) مسیرداده ۲ مربوط به مثال..... ۶۸

شکل۵-۴) گراف وابستگی داده مربوط به مسیرداده ۱ ..... ۷۰
شکل۵-۵) گراف وابستگی داده مربوط به مسیرداده ۲ ..... ۷۱
شکل۵-۶) DFG مربوط به مسیرداده های ۱و ۲ ..... ۷۱

چکیده

امروزه با افزایش روزافزون پیچیدگی سیستم ها، درستی یابی تبدیل به یک بخش مهم و زمان بر در پروسه طراحی سیستم ها شده است.

با توجه به سطوح انتزاعی مختلف به کار گرفته شده در طرحها، روشهای گوناگونی برای درستی یابی سیستم ها وجود دارد. هر کدام از این روشها ،به نوبه خود معایب و مزایایی دارند، که مهندسین طراح را وادار به انتخاب یکی از آنها با در نظر گرفتن شرایط، پیچیدگی، اندازه، احتیاجات و کارکرد های سیستم می کند.

در این پایان نامه به موضوع درستی یابی طرح های در سطح گیت و طرحهای در سطح انتقال ثبات پرداخته شده است. در سطح گیت، با استفاده از سیستم جبری سه مقداره، الگوریتمی برای درستی یابی بر اساس مفهوم بررسی تساوی ارائه شده است. در این روش با به کارگیری ایده اولیه در روش ارزیابی مسیر نمادین، که خود یک روش بررسی مدل محسوب می شود، یک الگوریتم بر اساس مفهوم روش بررسی تساوی ارائه شده است. در سطح انتقال ثبات نیز، روشی برای استخراج نمودار جریان داده از انتقال ثباتهای به دست آمده از یک مسیر داده، ارائه شده است.

کلید واژه: 1- درستی یابی صوری 2- شبیه سازی نمادین 3- شبیه سازی سه مقداره 4- ارزیابی مسیر نمادین 5- درستی یابی در سطح انتقال ثبات 6- گراف وابستگی داده.

شانزده

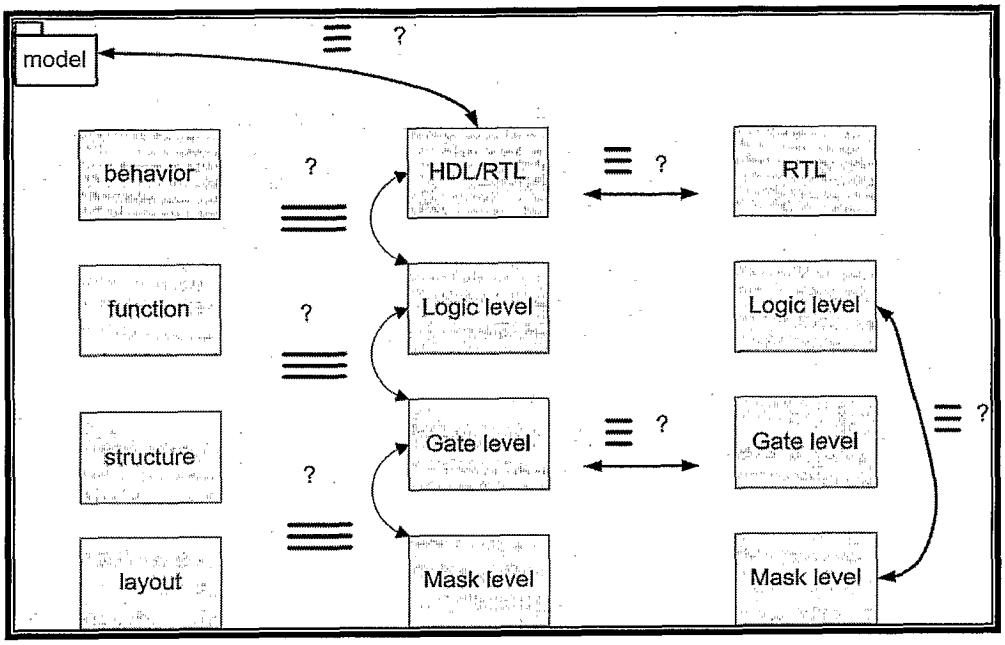
فهرست جداول

جدول۲-۱) جدول درستی تابع XOR..... ۱۲
جدول۴-۱) الگوریتم ریل دوتایی..... ۵۳
جدول۴-۲) جدول درستی در سیستم سه مقداره مربوط به شکل۱ [out=ab+ac] ۵۴
جدول۴-۳) جدول درستی در سیستم سه مقداره مربوط به شکل ۲ [out=(b+c).a] ۵۵
جدول۴-۴) جدول درستی تابع XOR در سیستم سه مقداره با گیتهای OR و AND ۵۶
جدول۴-۵) جدول درستی تابع XOR در سیستم سه مقداره با گیتهای OR و NAND ۵۷
جدول۴-۶) جدول درستی در سیستم سه مقداره برای ضرب کننده دو بیتی..... ۶۰
جدول۵-۱) جدول خروجی برای مسیر داده ۱ ..... ۶۹
جدول ۵-۲) جدول خروجی برای مسیر داده ۲..... ۷۰
جدول۶-۱) نتایج تجربی روش بررسی تساوی سه مقداره..... ۷۸
جدول۶-۲) نتایج تجربی روش ارائه شده در فصل پنجم..... ۸۰

فصل اول :

مقدمه

به طور کلی، درستی یابی[۱] یعنی اینکه اطمینان حاصل کنیم، که طراحی مورد نظر درست انجام شده است. این اطمینان با مقایسه طرح اصلی با یک طرح جایگزین در همان سطح و یا با مقایسه طرح با پیاده سازی آن در سطوح دیگر، حاصل می شود.



شکل۱-۱: مفهوم درستی یابی

درستی یابی، وقت گیرترین مرحله از طراحی سیستم محسوب می شود. می توان گفت که تقریبا بیش از هفتاد درصد تلاشها در پروسه طراحی سیستم صرف بررسی این می شود که آیا طراحی، خصوصیات خواسته شده را برآورده می کند یا خیر.

بیشتر این تلاشها صرف درستی یابی منطقی یا عملکردی می شود. اما بخش مهم دیگر در درستی یابی، درستی یابی کارآیی [۲] است. یعنی وقتی که طراح بررسی کند که آیا وسیله نهایی ساخته شده، محدودیتهای تعریف شده برای زمان بندی، مساحت و توان و... را ارضا می کند یا خیر. در این مقدمه مرور کوتاهی بر روشهای درستی یابی که امروزه در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند، داریم.

---

[۱] Verification
[۲] Performance verification

روشهای درستی یابی که امروزه در دسترس هستند به طور کلی به دو دسته روشهای شبیه سازی [۱] و روشهای صوری [۲] تقسیم بندی می شوند.

در روشهای شبیه سازی، طراح یک مدل اجرایی از طرح را تهیه می کند. بردارهای تست به ورودیهای مدار داده می شوند و مقادیر خروجی بعد از تاخیرهای تعریف شده در مدل، تولید می شوند. درستی یابی کارکرد مدل، بوسیله مقایسه خروجیهای تولید شده با خروجیهای مطلوب انجام می شود.

اما روشهای صوری محض، نیازی به محیط شبیه سازی ندارند. مدلها و خصوصیات آنها با یک شکل ریاضی توصیف می شوند و از فرمولهای ریاضی برای مقایسه دو مدل یا بررسی اینکه آیا یک خصوصیت [۳] در یک مدل موجود است یا خیر، استفاده می شود. لذا چالش اصلی در روشهای صوری، پیدا کردن یک فرمالیسم مناسب برای توصیف و نمایش مدلها و خصوصیات آنها می باشد. روشهای صوری به طور کلی به سه روش بررسی تساوی، بررسی مدل و اثبات قضیه تقسیم می شوند. به منظور بررسی صحت مدلهای سنتز شده و بهبود یافته، می توانیم از بررسی تساوی استفاده کنیم. بعضی جنبه های تساوی نظیر تساوی منطقی یا تساوی ماشین حالت را تعریف می کنیم و الگوریتم بررسی تساوی، تساوی مدلهای اصلی و سنتز شده / بهبودیافته را اثبات یا رد می کند. از طرف دیگر، بررسی مدل، یک نمایش صوری از مدل و خصوصیت داده شده را می گیرد و بررسی می کند، که آیا خصوصیت بوسیله مدل ارضا می شود یا خیر. اثبات قضیه، نمایش صوری خصوصیات و پیاده سازی مدل را در یک منطق ریاضی می گیرد و تساوی آنها را با استفاده از قوانین آن منطق، اثبات یا رد می کند.

اما در این میان، روشهای دیگری نیز هستند که از لحاظ مفهومی بین دو روش فوق قرار دارند، این روشها را روشهای شبه صوری [۴] می نامند. در این روشها سعی شده است، که مشکل زیاد بودن تعداد بردارهای تست در روشهای شبیه سازی و همچنین مشکل پیچیدگی استفاده از فرمالیسم های ریاضی برای نمایش خصوصیات مدار، تا حدودی برطرف گردد.

روشهای شبه صوری از یک محیط شبیه سازی استفاده می کنند، اما از روشهای نمادین [۵] برای تحریک کردن ورودیها و مشاهده کردن خروجی طرح بهره می گیرند. فایده اصلی این روش در عدم وجود حالتهای آزمایش [۶] است، با این وجود مشاهده نتایج شبیه سازی پیچیده تر می شود. دلیل این پیچیدگی این است که روال مانیتور باید عبارات خروجی تولید شده را با عبارات خروجی مطلوب، به وسیله روشهای صوری مقایسه نماید.

---

[۱] Simulation-based
[۲] Formal
[۳] Property
[۴] Semi formal
[۵] Symbolic
[۶] Test case

طی سالهای اخیر روشهای مختلف دیگری از ترکیب این دو روش اصلی(روشهای صوری و روشهای شبیه سازی) پیشنهاد شده است، که در هر یک از آنها سعی شده است، که کارآیی این دو روش به نوعی با یکدیگر ترکیب شده و معایب آنها برطرف گردد.

از جمله این روشهای ترکیبی، روش ارزیابی مسیر نمادین [1] است که به اختصار STE نامیده می شود. الگوریتم STE با ترکیب روشهای صوری و شبیه سازی، مزایای این دو روش را ادغام نموده و تلاش می کند که مشکل کمبود حافظه در روشهای شبیه سازی و روشهای صوری را تا حدود زیادی مرتفع گرداند. یکی از روشهای پیشنهادی در این پایان نامه با به کارگیری ایده اولیه درSTE، یک الگوریتم درستی یابی ارائه می کند، که مشکل پیچیدگی STE و کمبود حافظه در سایر روشها را تا حدود زیادی برطرف می کند.

ساختار آنچه که در فصلهای آتی به مطالعه آنها خواهیم پرداخت به شرح زیر است:

در فصل دوم روشهای مختلف درستی یابی در سطح بیت و در سطح کلمه را به طور کامل بررسی می کنیم. در فصل سوم اصول سیستم جبری سه مقداره و روشهای درستی یابی مبتنی برآن نظیر STE به طور کامل شرح داده می شود.

فصل چهارم به بررسی روش درستی یابی سه مقداره که در این پایان نامه پیشنهاد شده است می پردازد.

در فصل پنجم با استفاده از روش مهندسی معکوس، الگوریتمی برای درستی یابی انتقال ثباتهای به دست آمده از مسیر داده ارائه می شود.

فصل ششم به بررسی نتایج عملی و شبیه سازیهای انجام شده برای روشهای فصلهای چهارم و پنجم می پردازد.

در پیوست الف نیز به مرور مطالب پایه ای ریاضی که به فهم بهتر مفهوم درستی یابی کمک می کنند، می پردازیم.

---

[1] Symbolic trajectory evaluation(STE)

فصل دوم:

بررسی روشهای مختلف درستی یابی