



● پژوهشگر: امیر کفشدار گوهرشادی
● عنوان طرح: تحلیل استاتیک برنامه‌ها با استفاده از هندسه جبری و نظریه احتمال
● Project title: Static program analysis using algebraic geometry and probability theory

● استاد راهنما: Krishnendu Chatterjee
● اساتید مشاور: فاطمه محمدی، Hongfei Fu, Andreas Pavlogiannis, Rasmus Ibsen-Jensen, Cesar Sanchez
● موسسه‌های همکار: انستیتو دانش و فناوری اتریش (IST Austria)، مرکز مطالعات پیشرفته‌ی نرم‌افزار مادرید (IMDEA)، بخش تحقیقات شرکت آی‌بی‌ام (IBM Research)، آکادمی علوم اتریش (OeAW)

چکیده طرح:

در این طرح با استفاده از قضایا و تکنیک‌هایی از هندسه جبری حقیقی، نظریه احتمال و نظریه پیچیدگی پارامتری، موفق به ارائه روش‌های نوینی برای حل چندین مسئله مهم در شاخه‌های درستی‌سنجی نرم‌افزار و هوش مصنوعی شدیم و الگوریتم‌های کارآمدتری برای تحلیل استاتیک برنامه‌های همروند، برنامه‌های تصادفی غیرقطعی، برنامه‌های بازگشتی غیرقطعی و فرایندهای تصمیم‌گیری مارکف مختصر ارائه شده است. چند نمونه از دستاوردهای این طرح به این شرح است: - با استفاده از نظریه پیچیدگی پارامتری و مفهوم عرض درختی، الگوریتم جدید و کارآمدتری برای حل مسأله فاصله جبری در برنامه‌های همروند ارائه کردیم. مسأله فاصله جبری تعمیمی از مفهوم‌های کوتاه‌ترین مسیر و همبندی است که بسیاری از سؤالات اساسی در تحلیل استاتیک را به عنوان حالت‌های خاصی از خود در بر می‌گیرد. الگوریتم ارائه شده زمان محاسبه‌ی فاصله‌ی جبری بین هر دو نقطه‌ی ممکن از یک برنامه با دو ریشه را از $O(n^6)$ به $O(n^3)$ کاهش می‌دهد.

- در بخش دیگری از این طرح به بررسی پایان‌پذیری برنامه‌های تصادفی غیرقطعی پرداختیم و با استفاده از مفاهیم مارتینگیل و سوپرمارتینگیل و قضایای مرتبط با آن‌ها در نظریه احتمال، مسأله پایان‌پذیری برنامه‌های تصادفی غیرقطعی را به حل یک دستگاه نامساوی‌های چندجمله‌ای کاهش داده شده است. سپس با استفاده از نتایجی در هندسه جبری حقیقی که قضایای نقاط مثبت (Positivstellensatz) نام دارند، الگوریتمی برای یافتن یک جواب این دستگاه‌ها ارائه کردیم. این روش بسیار موفق بوده و به یک الگوریتم چندجمله‌ای انجامید که با گرفتن کد یک برنامه در زمانی بسیار کوتاه اثباتی برای پایان‌پذیر بودن آن برنامه می‌یابد. الگوریتم ارائه شده با وجود این که امکان بررسی برنامه‌های تصادفی را فراهم می‌آورد، از الگوریتم‌های قبلی برای برنامه‌های غیرتصادفی نیز سریع‌تر است.

- در بخش نهایی این طرح به بررسی زمان اجرای برنامه‌های بازگشتی غیرقطعی پرداختیم و موفق شدیم با استفاده از تکنیک‌هایی مشابه بخش قبل الگوریتمی چندجمله‌ای ارائه کنیم که قادر است با گرفتن کد یک برنامه بازگشتی کران‌های غیرچندجمله‌ای برای زمان اجرای آن بیابد. برای مثال، الگوریتم ما می‌تواند با گرفتن کد مرتب‌سازی ادغامی، به صورت کاملاً خودکار زمان اجرای را محاسبه کند یا با گرفتن کد الگوریتم ضرب ماتریس استراسن، زمان اجرای $O(n \log n)$ غیرچندجمله‌ای $O(n^{2.9})$ را گزارش کند. نتایج این طرح در برترین کنفرانس‌ها و مجلات زبان‌های برنامه‌نویسی، درستی‌سنجی نرم‌افزار و هوش مصنوعی، از جمله POPL, CAV, TOPLAS, و IJCAI منتشر شده‌اند.