המאמר היומי של מייק: 16.06.25  
Evolutionary Computation in the Era of Large Language Model: Survey and Roadmap

בנוף המתפתח במהירות של AI, שתי פרדיגמות: LLMs ואלגוריתמים אבולוציוניים (EAs) פעלו לעיתים קרובות במקביל, כשכל אחת מהן מפגינה יכולות אדירות בתחומיה. מודלי השפה הדהימו אותנו עם יכולות היצירה שלהם והבנת השפה הטבעית, בעוד אלגוריתמים אבולוציוניים הוכיחו באופן עקבי את כוחם בבעיות אופטימיזציה וחיפוש מורכבות, תוך חיקוי של מנגנונים אבולוציוניים של הטבע. אבל מה קורה כאשר שני הכוחות העוצמתיים הללו מתחילים לשתף פעולה?

המחברים מסווגים את היחסים הללו לשני כיוונים עיקריים:

אלגוריתם אבולוציוני משופר על ידי מודל שפה (LLM-enhanced EA): כאן, LLMs מנוצלים כדי לשפר היבטים שונים של אלגוריתמים אבולוציוניים. דמיינו LLM המייצר באופן דינמי אוכלוסיות ראשוניות מגוונות ורלוונטיות יותר לאלגוריתם אבולוציוני, או יוצר פונקציות התאמה מתוחכמות ומודעות להקשר, שקשה לתכנן ידנית. LLM יכול לשמש כ"סוכן להבנת בעיות", המפרש תיאורי בעיות מורכבים כדי להנחות את החיפוש של האלגוריתם האבולוציוני, או אפילו כ"מנגנון תיקון", המתקן פתרונות לא חוקיים שנוצרו על ידי EA.

אתחול חכם: LLMs יכולים לייצר נקודות התחלה מגוונות ומבטיחות, המכוונות את ה-EA העוזרת לו להתכנס לפתרון טוב.

אופרטורים אדפטיביים: תכנון אופרטורי הכלאה או מוטציה דורש לעיתים קרובות מומחיות בתחום. LLMs יכולים אולי לייצר או לחדד אופרטורים אלו תוך כדי תנועה, בהתבסס על הקשר הבעיה.

הנדסת פונקציית התאמה: יצירת פונקציות התאמה אפקטיביות היא קשה להפליא.LLM יכול לסייע בתרגום יעדים ברמה גבוהה למדדים כמותיים או אפילו לייצר קוד להערכה.

הסבר ויכולת פרשנות: לאחר ש-EA מוצא פתרון, LLM יכול לייצר הסברים קריאים לבני אדם של למה הפתרון הזה טוב או איך הוא התקבל.

מודל שפה משופר על ידי אלגוריתם אבולוציוני (EA-enhanced LLM): אלגוריתמים אבולוציוניים יכולים להביא את יכולות האופטימיזציה החזקות שלהם לטובת LLMs. אימון LLMs הוא יקר חישובית ומסתמך במידה רבה על ירידה בגרדיאנט, שיכולה להיתקע באופטימום מקומי. EAs הידועים ביכולות החיפוש הגלובליות שלהם וביכולתם לנווט במרחבים שאינם ניתנים לגזירה, מציעים חלופה או השלמה מסקרנת:

אופטימיזציית פרומפטים: EAs יכולים לפתח פרומפטים יעילים יותר עבור מודלי שפה גדולים, ולגלות ניסוחים עדינים המפיקים תגובות מעולות למשימות ספציפיות. זה חורג מהנדסת פרומפטים פשוטה, ומאפשר גילוי אוטומטי של פרומפטים אופטימליים.

כוונון היפרפרמטרים: שלל ההיפרפרמטרים של LLMs (שיעורי למידה, גדלי מיני-באץ', בחירות ארכיטקטוניות) יכולים להיות מותאמים באמצעות EAs, מה שעתיד להוביל למודלים חזקים ויעילים יותר.

חיפוש ארכיטקטורה עצבי (NAS): ל-AEs היסטוריה ארוכה ב-NAS ביישום ל-LLMs, הם יכולים לגלות ארכיטקטורות חדשניות, יעילות יותר או מיוחדות, במיוחד עבור מודלים קטנים ומצומצמים יותר.

העשרת וארגון דאטה: אלגוריתמים אבולוציוניים יכולים לפתח אסטרטגיות לבחירה או יצירה של נתוני אימון שיועילו באופן מקסימלי לביצועי מודלי השפה הגדולים, תוך התמודדות עם מחסור או בעיות איכות דאטה.

חוסן והגנות מפני התקפות אדוורסריות: EAs יכולים לשמש ליצירת דוגמאות יריבות לבדיקה ושיפור רובסטיות של LLMs, או לפיתוח מנגנוני הגנה.

המאמר מדגיש "שיטות סינרגיה משולבות" על פני תרחישים מגוונים, ומציג את ההשלכות המעשיות של שיתוף הפעולה הזה. הם נוגעים ב:

יצירת קוד והנדסת תוכנה: דמיינו LLM המייצר קטעי קוד ראשוניים, ולאחר מכן EA המייעל את הקוד הזה לביצועים, יעילות, או אפילו הפחתת באגים. לעומת זאת, אלגוריתם אבולוציוני יכול להציע שיפורים במבנה הקוד, ומודל שפה גדול יכול לבצע רפקטורינג לקוד בהתבסס על הצעות אלו.

חיפוש ארכיטקטורה עצבי (NAS): זו התאמה טבעית, שכן אלגוריתמים אבולוציוניים שימשו זה מכבר לגילוי ארכיטקטורות של רשתות נוירונים. שילוב זה עם מודלי שפה גדולים יכול להיות שמודל שפה גדול יציע מוטיבים ארכיטקטוניים ראשוניים, אותם אלגוריתם אבולוציוני יפתח וישכלל.

משימות יצירה שונות: מעבר לקוד, חשבו על כתיבה יצירתית, עיצוב, או אפילו גילוי תרופות. LLM יכול לייצר רעיונות או מבנים ראשוניים, ו-EA יכול לאחר מכן לייעל אותם לפי קריטריונים ספציפיים (למשל, חידוש, עקביות, יעילות), מה שיוביל לתפוקות חדשניות באמת.

המאמר עושה אובסרבציה הבאה: ככל ש-LLMs הופכים לנפוצים, הבנת האופן שבו ניתן להפוך אותם לחזקים, יעילים וחכמים יותר, וכיצד לרתום אותם לפתרון בעיות מורכבות, היא בעלת חשיבות עליונה. הסקירה מספקת צעד יסודי מכריע, המפרק באופן שיטתי תחום מתפתח ומורכב. חזונו של המחברים בזיהוי אתגרים והצעת מפת דרכים הוא בעל ערך רב במיוחד, ומנחה חוקרים לעבר דרכים מבטיחות ביותר.

עם זאת יש אתגרים משמעותיים בדרך:

עלות חישובית: הפעלת EAs, במיוחד עבור משימות מורכבות, עלולה להיות יקרה בצורה בלתי רגילה. כיצד נהפוך את השילוב הזה ליעיל?

אי התאמה בייצוג: גישור על הפער בין האופי הדיסקרטי של השפה (כפי שמטופל על ידי LLM) לבין המרחבים הרציפים והמספריים הנחקרים לעיתים קרובות על ידי EAs, אינו טריוויאלי.

יכולת פרשנות של הסינרגיה: כאשר LLM ו- EA משתפים פעולה, ההבנה מדוע הושג פתרון מסוים הופכת אפילו יותר מעורפלת.

הגדרת "אופטימלי": עבור בעיות יצירתיות או מורכבות רבות, הגדרת פונקציית התאמה מדויקת ל-EA, אפילו בסיוע LLM נותרת אתגר.

למרות המורכבות הזו, החזון המפורט במאמר זה מרתק ללא ספק. הוא מציע עתיד שבו מערכות AI לא רק מסוגלות לייצר טקסט קוהרנטי או למצוא פתרונות אופטימליים, אלא יכולות ללמוד באופן מושכל כיצד ללמוד, ללמוד כיצד לבצע אופטימיזציה, וללמוד כיצד ליצור באופן אוטונומי ומתוחכם בהרבה.

מה שהמאמר הזה באמת מדגיש הוא המעבר מעבר להתייחסות ל-LLMs כקופסאות קסם מבודדות. הוא דוחף לתפיסה הוליסטית של AI, שבה ניתן לשלב פרדיגמות שונות, כל אחת עם יתרונותיה הייחודיים, כדי להתגבר על חולשות של כל אחת מהן. חישוב אבולוציוני מציע ל-LLMs דרך לברוח מאופטימום מקומי, לחקור מרחבים(של משקולות וארכיטקטורות למשל) שהיו חסומים לנו, ולהשיג אינטליגנציה כללית יותר בתקווה. LLMs, בתורם, יכולים להעניק ל-EAs חשיבה ברמה גבוהה יותר, ידע בתחומים שונים ויכולת לפעול על ייצוגים מופשטים וסמנטיים.

https://arxiv.org/abs/2401.10034