⚡️🚀המאמר היומי של מייק -27.11.24: ⚡️🚀  
The Illusion of State in State-Space Models

מאמר חשוב זה בוחן את המגבלות התיאורטיות של State Space Models או (SSMs), אשר צמחו כארכיטקטורה חלופית לטרנספורמרים עבור מודלי שפה גדולים. המחברים מדגימים שלמרות עיצובם שנראה Recurrent ובעל מצב (כלומר stateful), למעשה SSMs (כמו טרנספורמרים) מוגבלים באופן בסיסי ביכולתם לבטא חישוב "רציף", מכיוון שאינם יכולים לחשב דבר מחוץ למחלקת המורכבות TC0. משימות ממחלקת TC0 מוגדרות ככאלו שניתן לייצגן עם שרשראות בוליאניות בסיסיות (וחישובי סף ו- majority vote) בעומק סופי (למשל חיבור של מספרים, מכפלה או מיון של n מספרים). מדובר במחלקה הכי "פשוטה" בהיררכיה של תורה סיבוכיות circuit (כלומר circuit complexity).

משמעות הדבר היא ש-SSMs אינם יכולים לפתור בעיות מסוג permutation composition ש- RNNs בעלות שכבה אחת מסוגלות לפתור.

תרומות מרכזיות של המאמר:

ניתוח תיאורטי:

מוכיח שגם SSMs לינאריים וגם SSMs בסגנון Mamba מוגבלים למורכבות חישובית TC0

מראה ש-SSMs אינם יכולים לפתור בעיות שלמות-NC1 (משימות שניתן לייצג אותן עם פעולות בוליאניות בעומק לוגריתמי ממימד הבעיה - מספר משתנים בגדול) כמו הרכבת תמורות. כלומר לא עומק סופי כמו ב- TC0.

מדגים ש-SSMs אינם יכולים לעקוב במדויק אחר מהלכי שחמט, לכתוב קוד מורכב, או לעקוב אחר ישויות בנרטיבים.

בדיקות אמפיריות שבוצעו על ידי מחברים המאמר:

מספק ראיות ניסיוניות המראות ש-SSMs בסגנון Mamba וטרנספורמרים מתקשים במשימות permutation composition.

מראה ש-SSMs דורשים עומק גדל כדי ״לטפל״ ברצפים ארוכים יותר למידול פעולות קבוצה ״תמורתיות״

מדגים ש-RNNs בשכבה יחידה יכולים לפתור משימות אלו ש-SSMs אינם יכולים (כנראה בגלל לינאריות בין המעבירים של המצבים החבויים ב-SSMs).

שכלולי ארכיטקטוניות המוצעים במאמר:

מציע 2 דרכים להרחיב SSMs מעבר למגבלות TC0: הוספת אי-ליניאריות (RNN-SSM) והפיכת מטריצות המעבר לתלויות בקלט (WFA-SSM) - שכלול של ממבה המוסיף אי לינאריות למטריצה A שנותרה קבועה בממבה.

השפעה והשלכות של המאמר:

מאתגר הנחות לגבי יתרונות SSMs על פני טרנספורמרים

מצביע על גישות היברידיות פוטנציאליות המשלבות ארכיטקטורות שונות

פותח כיוונים חדשים לפיתוח ארכיטקטורות עם יכולת ביטוי משופרת ליישומי עיבוד שפה טבעית ועבור דומיינים נוספים

מדגיש את חשיבות הניתוח התיאורטי של התמאת של ארכיטקטורת מודל למשימה ספציפית שהוא מתוכנן לפתור

סיכום:

מאמר תורם הן מבחינה תיאורטית והן מבחינה מעשית להבנת ארכיטקטורות של רשתות נוירונים. הניתוח התיאורטי הקפדני, בשילוב עם ראיות אמפיריות תומכות, מספק תובנות חשובות לגבי המגבלות הבסיסיות של SSMs.. בעוד שחלק מהתוצאות התיאורטיות מסתמכות על הנחות תיאורטיות של מורכבות, ההשלכות המעשיות נתמכות היטב בראיות אמפיריות.

https://arxiv.org/abs/2404.08819