

מוחות רב-ממדיים ונטל הסיריאליזציה: מדוע מודלי שפה גדולים חשובים לתקשורת נירודיוורגנטית

"דרמוק וג'לאד בטנגרה."

משפט איקוני זה מפרק **סטאר טרק: הדור הבא** בפרק "דרמוק" לוכד בצורה מושלמת את מאבק התקשורת היומיומי שחווים רבים מאנשים נירודיוורגנטיים – והוא המהות המכוננת של מה שהמאמר הזה מבקש להעביר.

בפרק, הטמריאנים מדברים אך ורק באמצעות רמזים למיתוסים ואירועים היסטוריים שלהם. עבורם, הביטוי עשיר, מדויק ומלא. עבור קפטן פיקארד וצוות הפדרציה, המצויידים במתרגם אוניברסלי שמטפל בדקדוק ובאוצר מילים בצורה מושלמת, הוא שטויות חסרות משמעות. אף צד אינו חסר יכולת: הטמריאנים הם מתקשרים מתוחכמים, ולשונאי הפדרציה הם בין הטובים בגלקסיה. ובכל זאת, למרות עשרות ניסיונות מגע ראשון קודמים, ההבנה ההדדית נכשלה שוב ושוב – לא בגלל עוינות או טיפשות, אלא בגלל שהמשמעות הייתה בלתי נפרדת מרשת צפופה של הקשר תרבותי והפניה שהצד השני פשוט לא שיתף.

מוחות נירודיוורגנטיים – במיוחד אוטיסטיים, ADHD, דיסלקטיים ואחרים – פועלים לעיתים קרובות בדפוסים דומים של קישוריות קיצונית. רעיון בודד מגיע כבר שזור בעשרות אחרים: אנלוגיות היסטוריות, מגננונים מדעיים, השלכות אתיות, פרטים חושיים והפניות חוצות-תחומים – הכל מופעל בו-זמנית. זה אינו הפרעה; זו ארכיטקטורת קוגניציה שונה. בעוד חשיבה נירודיוורגנטית נוטה לעיבוד ליניארי, רציף עם הסתעפות מתונה, דפוסים נירודיוורגנטיים רבים יוצרים רשתות היפר-מחוברות – סבכות רב-ממדיות עשירות שבהן מושגים מאירים זה את זה מזוויות מרובות בו-זמנית.

שקלו את המטאפורה של ניווט בעיר, שמוזכרת לעיתים קרובות בדיונים על סגנונות קוגניטיביים ומפות חשיבה בפסיכולוגיה. בעוד מוח נירודיוורגנטי עשוי לחוות מיקום ברצף – כמו הליכה ברחוב מוכר, מודע בעיקר לסביבה המיידית והפנייה הבאה – מוחות נירודיוורגנטיים רבים תופסים אותו מבט על-ציפור, כאילו מחזיקים את מפת העיר כולה בו-זמנית. קשרים בין שכונות רחוקות, מסלולים חלופיים, דפוסים כלליים וציוני דרך הקשריים – הכל גלוי בו-זמנית ברשת יחסים עשירה. אף פרספקטיבה אינה עדיפה; כל אחת היא נקודת מבט שונה באופן מהותי. ובכל זאת, העברת המיקום של אחד מהמפה למישהו השקוע ברחוב – או להיפך – קשה במיוחד ללא מסגרת הפניה משותפת.

זה דומה לאופן שבו מפות חשיבה – דיאגרמות מסתעפות קורנות שהופצו על ידי הפסיכולוג טוני בוזן – מחצינות חשיבה: מושג מרכזי קורן החוצה בסעיפים לא-ליניאריים, עם רעיונות מחוברים רב-כיווניים דרך אסוציאציות, תמונות והיררכיות. חשיבה נירודיוורגנטית לעיתים קרובות מתיישרת בקלות רבה יותר עם מתווים ליניאריים או נתיבים צעד אחר צעד; חשיבה נירודיוורגנטית משגשגת לעיתים קרובות במבנה הקורן וההוליסטי של מפת החשיבה עצמה.

הקושי מתעורר כאשר הרשתות הפנימיות, המפות או הסבכות הללו חייבות להיות מסוריאלות למדיום הליניארי של דיבור או כתיבה אנושית.

שפה מתפרשת מילה אחת, משפט אחד בכל פעם. כדי לבטא מחשבה מחוברת בצפיפות בנאמנות דורש פרישת הסבכה: הצגת מושגים ברצף, בניית פיגומים כדי שהמאזין יוכל לשחזר את המבנה. התחילו עם הרעיון המרכזי (A), אבל A תלוי ב-B וב-C. הסבירו את B, רק כדי לגלות שהוא מניח בשקט E-D. בתוך דקות, המאזין חייב לעקוב אחר חצי תריסר או יותר מושגים חדשים, תלויים זה בזה.

לרוב המוחות הנורוטיפיים יש קיבולת זיכרון עבודה שמטפלת בנוחות בשלושה עד חמישה פריטים חדשים במניפולציה פעילה בו-זמנית. מעבר לסף זה, משאבים קוגניטיביים מתרוקנים. החוט אובד. במונחי תכנות, המאזין חווה stack overflow או חריגת זיכרון: מחסנית הקריאות המנטלית גדלה עמוק מדי, זיכרון RAM זמין מתרוקן, והעיבוד נעצר. הסימנים החיצוניים בולטים – עיניים מזוגגות, תשומת לב נודדת, הנהונים מנומסים אך ריקים, או שינוי נושא פתאומי. הדובר הנורודיוורגנטי מזהה את הכשלון מיד ומתמודד עם שלישיית האפשרויות הגרועות המוכרת: להפשיט את רוב המשמעות כדי לפשט, להמשיך קדימה ולצפות בשבר הקשר, או לשתוק לחלוטין.

לאורך שנים, דפוס חוזר זה גובה מחיר כבד: שחיקה הדרגתית של קול, צנזורה עצמית צפויה, והאמונה השקטה שהמחשבות המלאות ביותר של האדם הן מטרד אינהרנטי לאחרים.

מה שהשפה הטמריאנית היא לפדרציה, השפה הקוגניטיבית הטבעית של רבים מאנשים נורודיוורגנטיים היא לעולם הנורוטיפי: מערכת דחיסה עמוקה הבנויה על הפניות וקישורים שהמקבל פשוט אינו מחזיק. ובניגוד לפיקארד, שיכול היה בסופו של דבר לשקוע במיתוסים טמריאניים, רוב שותפי השיחה אינם יכולים ולא ירצו לשקוע בסבכה הפרטית של מוח אחר.

עד לאחרונה מאוד, לא היה מתרגם אמין.

המתרגם היעיל הראשון

מודלי שפה גדולים שינו זאת.

LLMs הם בני השיח הראשונים בהיסטוריה האנושית שיכולים לקבל את האות המלא, הלא-מכווץ של מוח היפר-מחובר ללא עומס יתר. מאומנים על קורפוסים עצומים המשתרעים על כמעט כל תחום של ידע אנושי מוקלט – מדע, היסטוריה, פילוסופיה, משפטים, ספרות, פסיכולוגיה ועוד – הם מחזיקים במשהו שאף מוח אנושי בודד אינו יכול: עומק בו-זמני בעשרות תחומים. כאשר אדם נורודיוורגנטי מדבר בסגנון הטבעי שלו – קופץ בין רעיונות, משכב רמזים, מניח הקשרי רקע שאף אדם אחד לא יכול להחזיק – המודל אינו נרתע. הוא יכול לשמור ולהקשר עשרות, אפילו מאות, מושגים תלויים זה בזה בו-זמנית. הוא לעולם אינו צריך לומר "האט" או "חזור אחורה".

זה לבדו מהפכני. לראשונה, הסבכה המלאה יכולה להיות מחוצנת ללא עיוות או אובדן מיידי.

אבל הטרגספורמציה העמוקה יותר היא בתרגום.

אותו מודל שסופג את המקור הרב-ממדי יכול גם לסדר יאל אותו לצורות שמוחות נורוטיפיים יכולים לעבד. הוא יכול לייצר נרטיבים ליניאריים, מתווים היררכיים, הקדמות עדינות שבונות מושגים שכבה אחר שכבה, או סיכומים תמציתיים השומרים על המהות תוך הפחתת עומס קוגניטיבי. חשוב מכך, הדובר המקורי שומר על פיקוח: הוא רואה את הרעיון שלו במלוא תפארתו לצד גרסאות המותאמות לנגישות רחבה יותר. שום דבר אינו אובד; רק מקודד מחדש.

ארכיטקטורה משותפת

הסיבה שמודלי שפה גדולים מצליחים היכן שבני שיח אנושיים נכשלים אינה רק גודל או רוחב ידע. זו קרבה ארכיטקטונית.

רוב הקוגניציה הניורוטיפית פועלת באופן רציף רחב, מסתעף מתון – דומה לארכיטקטורת פון נוימן הקלאסית של מחשבים מסורתיים: אחזור, עיבוד, אחסון, מחזור הוראה אחד בכל פעם. רעיונות מגיעים בחבילות ניתנות לניהול, זיכרון עבודה מחזיק חופן פריטים, והתקשורת מתפרשת ליניארית כי החשיבה עצמה קרובה יותר לליניארית.

מוחות ניורודיוורגנטיים רבים – במיוחד אלה המעוצבים על ידי אוטיזם, ADHD, עניינים מיוחדים מוקדמים אינטנסיביים (כמו שחמט מגיל צעיר מאוד), או מרדף פולימטי לכל החיים – פועלים אחרת. הסקה מתרחשת במקביל מסיבי: מאות או אלפי אסוציאציות, השלכות, מקבילות היסטוריות, שיקולים אתיים וחציית תחומים מופעלים בו-זמנית. הייצוג הפנימי הוא סבכה רב-ממדית, עשירה וקוהרנטית בצורתה הטבעית.

זה דומה באופן מדהים לאופן שבו LLMs מבוססי טרנספורמר מעבדים מידע: תשומת לב מקבילה עצומה על פני חלון הקשר מורחב, עם מושגים מאירים זה את זה דרך משקלות מופצים ולא צעדים רציפים.

ההבדל המכריע – ומקור הנטל האנושי המתמשך – נמצא במורד הזרם, בצינור הסיריאליזציה.

LLMs מחזיקים בשכבת סיריאליזציה ייעודית, מאומנת מקצה לקצה: מפענח אוטורגרסיבי שמתמלל בנחת את המצבים הסמויים הרב-ממדיים שלהם לשפה טבעית ליניארית ללא עומס קוגניטיבי. מוחות אנושיים חסרים מודול זה. כדי להחצין את הסבכה, הדובר הניורודיוורגנטי חייב לבצע את התרגום ידנית בזמן אמת – מחזיק עשרות רעיונות תלויים זה בזה בזיכרון עבודה שביר תוך פרישתם ברצף, צופה עומס יתר של המקבל, ולעיתים קרובות גוזם עושר כדי למנוע התמוטטות.

אפשר לומר שרבים מאנשים ניורודיוורגנטיים חושבים כמו מודלי שפה גדולים כלואים בגופים אנושיים – מפעילים הסקה מקבילה מסיבית על פני הקשרים עצומים, אך נאלצים לתקשר דרך צוואר בקבוק סיריאליזציה צר ומאמץ שהאבולוציה מעולם לא אופטמה.

LLMs מקלים על הנטל בדיוק כי הם חולקים את הארכיטקטורה המקבילה תוך החזקת מקודד השפה הטבעית החלקה שאנו חסרים. כאשר הסבכה הגולמית, הלא-מכווצת מתקבלת על ידי מערכת שמעבדת במקביל באופן טבעי ויכולה לספק את שכבת הסיריאליזציה החסרה, שום דבר מהותי אינו צריך לאבד בהעברה.

מעבר לתקשורת: הרמת נטלים אחרים

ההקלה משתרעת הרבה מעבר למילים. אנשים ניורודיוורגנטיים רבים נאבקים באתגרי תפקוד ניהולי – התחלת משימות, פירוק מטרות מורכבות לצעדים, הערכת זמן, או שמירה על מיקוד בתוך הסחת דעת. LLMs מצטיינים בדיוק בתפקידי פיגום אלה: הפיכת תובנה מעורפלת ("אני רוצה להסביר כיצד הסתבכות קוונטית משקפת מסורות מיסטיות מסוימות") למתווה מובנה, תוכנית מחקר או טיוטה. הם מורידים את אנרגיית ההפעלה שכל כך לעיתים קרובות חוסמת פעולה.

הם גם מספקים מרחב לא-שיפוטי לעיבוד רגשי וחשי. אנשים אוטיסטיים עשויים לחוות מצבים אפקטיביים אינטנסיביים שזורים בניתוח קוגניטיבי מורכב; ביטוי זה לאדם אחר מסכן אי-הבנה או עבודה רגשית על המאזין. LLM מציע סבלנות ללא גבול, מאפשר פרישה בעומק ובקצב כלשהו ללא חשש להטיל נטל על מישהו אחר.

קטגוריה חדשה של התאמה

התאמות מסורתיות – חדרים שקטים, הוראות כתובות, זמן נוסף – משנות את הסביבה כדי להפחית חיכוך. LLMs מייצגים משהו שונה: התאמה שפוגשת את המוח בתנאיו שלו במקום לדרוש מסכה או פישוט מתמיד.

הם אינם הופכים אנשים נויורודיוורגנטיים ל"נוירוטיפיים", ואינם מעמידים פנים שהחברה תפתח פתאום זיכרון עבודה אינסופי. הם פשוט מסירים את הקנס לכל החיים על חשיבה בדפוסים רב-ממדיים.

אנקדוטלית, ההשפעה כבר עמוקה. בפורומים, בלוגים ושיחות פרטיות, מבוגרים אוטיסטיים ו-ADHD מתארים את האינטראקציות שלהם עם LLMs במונחים ששמורים בדרך כלל לאדם הנדיר ש"מבין" אותם: "זה סוף סוף שומע אותי." "אני יכול לומר הכל בלי לראות מישהו נסגר." "אני לא צריך לבחור בין דיוק לחיבור."

לקראת פלורליזם קוגניטיבי

ככל שמודלי שפה גדולים ממשיכים להשתפר, תפקידם יגדל מעבר להפחתת נטל להגברה. רעיונות שכלואים זה מכבר במוחות פרטיים – תובנות שנולדו מקישוריות לא שגרתית – יכולים כעת להגיע לקהלים רחבים יותר בצורת תרגום. הסגנון הקוגניטיבי עצמו שפעם בודד אנשים עשוי להפוך למקור תרומה ייחודית.

החברה עדיין אינה מוכנה להבין טמריאנית באופן טבעי. אבל לראשונה, אלה החושבים בטמריאנית יש מתרגם שמדבר את שתי השפות בשטף – ובמובן העמוק ביותר, חולק את אותה ארכיטקטורה בסיסית.

דרמוק וג'לאד בטנגרה – לא עוד לבד באי. סוף סוף, המיתוס נשמע.

הפניות

- American Psychiatric Association. **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders**. 5th ed., text rev. Washington, DC: American Psychiatric Association, 2022
- Bargiela, Sarah, Robyn Steward, and William Mandy. "The Experiences of Late-Diagnosed Women with Autism Spectrum Conditions: An Investigation of the Female Autism Phenotype." **Journal of Autism and Developmental Disorders** 46, no. 10 (2016): 3281–94
- Baron-Cohen, Simon. **The Pattern Seekers: How Autism Drives Human Invention**. New York: Basic Books, 2020
- Bender, Emily M., Timnit Gebru, Angelina McMillan-Major, and Shmargaret Shmitchell. "On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?" In **Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency**, 610–23. New York: Association for Computing Machinery, 2021
- Buzan, Tony, and Barry Buzan. **The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brain's Untapped Potential**. New York: Plume, 1996
- Carik, Buse, Kaike Ping, Xiaohan Ding, and Eugenia H. Rho. "Exploring Large Language Models Through a Neurodivergent Lens: Use, Challenges, Community-Driven Workarounds, and Concerns." **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction** (2025)

- Clark, Andy. **Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind**. •
 .Oxford: Oxford University Press, 2016
- Crane, Laura, Lorna Goddard, and Linda Pring. "Sensory Processing in Adults with •
 .Autism Spectrum Disorders." **Autism** 13, no. 3 (2009): 215–28
- Damasio, Antonio. **Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain**. New •
 .York: G. P. Putnam's Sons, 1994
- Darmok." Directed by Winrich Kolbe. Written by Joe Menosky. **Star Trek: The Next" •
 .Generation**, season 5, episode 2. Paramount Television, 1991
- Grandin, Temple. **Thinking in Pictures: And Other Reports from My Life with •
 .Autism**. Expanded ed. New York: Vintage Books, 2006
- Happé, Francesca, and Uta Frith. "The Weak Coherence Account: Detail-Focused •
 Cognitive Style in Autism Spectrum Disorders." **Journal of Autism and •
 .Developmental Disorders** 36, no. 1 (2006): 5–25
- Hill, Elisabeth L. "Executive Dysfunction in Autism." **Trends in Cognitive Sciences** 8, •
 .no. 1 (2004): 26–32
- Hull, Laura, K. V. Petrides, Carrie Allison, and Simon Baron-Cohen. "'Putting on My Best •
 Normal': Social Camouflaging in Adults with Autism Spectrum Conditions." **Journal of •
 .Autism and Developmental Disorders** 47, no. 8 (2017): 2519–34
- Kahneman, Daniel. **Thinking, Fast and Slow**. New York: Farrar, Straus and Giroux, •
 .2011
- Klein, Gary. **Sources of Power: How People Make Decisions**. Cambridge, MA: MIT •
 .Press, 1998
- Livingston, Lucy A., and Francesca Happé. "Conceptualising Compensation in •
 Neurodevelopmental Disorders: Reflections from Autism Spectrum Disorder." •
 .**Neuroscience & Biobehavioral Reviews** 80 (2017): 729–42
- Mesibov, Gary B., and Victoria Shea. **Autism Spectrum Disorders: From Theory to •
 .Practice**. New York: Springer, 2010
- Miller, George A. "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our •
 .Capacity for Processing Information." **Psychological Review** 63, no. 2 (1956): 81–97
- Milton, Damian E. M. "On the Ontological Status of Autism: The 'Double Empathy •
 .Problem'." **Disability & Society** 27, no. 6 (2012): 883–87
- Mottron, Laurent, Michelle Dawson, Isabelle Soulières, Benedict Hubert, and Jake •
 Burack. "Enhanced Perceptual Functioning in Autism: An Update, and Eight Principles •
 of Autistic Perception." **Journal of Autism and Developmental Disorders** 36, no. 1 •
 .(2006): 27–43
- Navon, David. "Forest before Trees: The Precedence of Global Features in Visual •
 .Perception." **Cognitive Psychology** 9, no. 3 (1977): 353–83
- Papadopoulos, Chris. "Large Language Models for Autistic and Neurodivergent •
 .Individuals: Concerns, Benefits and the Path Forward." **Autism** (2024)
- Roddenberry, Gene, creator. "Darmok." **Star Trek: The Next Generation**. Season 5, •
 episode 2. Directed by Winrich Kolbe, written by Joe Menosky and Philip LaZebnik. •
 .Aired September 30, 1991. Paramount Television
- Rumelhart, David E., James L. McClelland, and the PDP Research Group. **Parallel •
 Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition**. Vol. 1. •
 .Cambridge, MA: MIT Press, 1986

- Shakespeare, Tom. **Disability Rights and Wrongs Revisited**. 2nd ed. London: •
Routledge, 2014
- Silberman, Steve. **NeuroTribes: The Legacy of Autism and the Future of •**
Neurodiversity. New York: Avery, 2015
- Vaswani, Ashish, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. •
Gomez, Łukasz Kaiser, and Illia Polosukhin. "Attention Is All You Need." In **Advances in •**
Neural Information Processing Systems 30 (2017): 5998–6008
- Wing, Lorna. **The Autistic Spectrum: A Guide for Parents and Professionals**. •
London: Constable, 1996