

สองความเร็ว

ร่างกายคุณไม่เคยเลือกกระหว่างเร็วกับละเอียด มันทำทั้งสองอย่างพร้อมกัน
คนละสาย — และนี่คือราคาที่มันจ่าย

ห้องสมุด AICE · two-speeds

12 บท · ฉบับภาษาเดียว

เขียนครั้งแรก 13 กันยายน 2026 · ปรับปรุงล่าสุด 18 กันยายน 2026

ทุกตัวเลข ชื่อ และปีในเล่มนี้ตรวจย้อนไปยังแหล่งที่อ้างไว้ได้

ก่อนอ่าน

เล่มนี้คืออะไร — หนังสือเล่มเล็กกว่าด้วยสถาปัตยกรรมอย่างหนึ่งที่ปรากฏซ้ำทั่วร่างกายคุณ คือการมีระบบสองระบบทำงานขนานกันตลอดเวลา ระบบหนึ่งตอบเร็วและหยาบ อีกระบบตอบช้าและละเอียด เล่มนี้ตอบสี่คำถาม: ทำไมต้องมีสองระบบ · มันแบ่งงานกันอย่างไรจริงๆ · ความเร็วที่แท้จริงมาจากไหน · และสถาปัตยกรรมนี้เรียกเก็บอะไรกลับไป

ไม่ต้องมีพื้นฐานชีววิทยา ศัพท์เทคนิคทุกคำในเล่มนี้เขียนเป็นภาษาอังกฤษไว้ตามเดิม เพื่อให้ค้นต่อได้ และอธิบายด้วยภาษาปกติทุกครั้งที่ปรากฏครั้งแรก

ข้อจำกัดที่ต้องบอกก่อน — เล่มนี้เขียนจากประสาทวิทยาระดับตำรา ระบุชื่อผู้วิจัยและปีไว้ให้ผู้อ่านค้นต่อได้ แต่ **ไม่ได้ตรวจแหล่งชั้นต้นแบบสดในวันที่เขียน** เล่มอื่นบนชั้นนี้ทำ เล่มนี้ยังไม่ได้ทำ ตัวเลขทุกตัวจึงให้อ่านในฐานะช่วงค่าที่ตำรารายงานตรงกัน ไม่ใช่ผลจากการทดลองขึ้นเดียวที่ระบุวันได้ ชื่อและปีที่ให้ไว้มีไว้ให้ค้นต่อ ไม่ใช่ให้เชื่อแทนการค้น

ข้อที่ยังไม่ยุติ และเล่มนี้บอกว่ายังไม่ยุติ — เหตุผลที่ไม่โทคอนเดรียเก็บยีนสิบสามตัวไว้ (บทที่ 10) เป็นสมมติฐานนำ ไม่ใช่ข้อสรุป · และเรื่อง "ทางลัดสู่ amygdala" ที่ตั้งต้นจากหนังสือของ Joseph LeDoux ปี 1996 มีบทที่ว่าด้วยมันโดยเฉพาะ คือบทที่ 9 ซึ่งอธิบายว่าทำไมเล่มนี้ถึงไม่ใช้มันเป็นเสาหลัก

สิ่งที่ตัดออกโดยเจตนา — โครงร่างตั้งต้นของเล่มนี้มีบทหนึ่งว่าด้วยการเอาสถาปัตยกรรมนี้ไปสร้างเป็นระบบซอฟต์แวร์ บทนั้นถูกตัด เพราะยังไม่มีตัวเลขจากระบบที่รันจริงมารองรับ และบทที่อธิบายสิ่งที่ยังไม่มีใครวัด เป็นบทเดียวในเล่มที่ผู้อ่านจับได้แน่นอน

1 . เขาที่ตอบไปก่อนแล้ว

หมอเคาะได้เข้าคุณ ขากระเด็นขึ้น

คำถามที่ไม่มีใครถามตอนนั้นคือใครสั่ง

เส้นทางของสัญญาณนั้นสั้นกว่าที่ควรจะเป็นมาก ค้อนกระทบเอ็นใต้สะบ้า เอ็นยึด ตัวรับความยืดที่ฝังอยู่ในกล้ามเนื้อต้นขาส่งสัญญาณวิ่งขึ้นไปตามเส้นประสาทถึงไขสันหลังระดับเอว เปลี่ยนสายที่นั่นครั้งเดียว แล้ววิ่งกลับลงมาส่งกล้ามเนื้อมัดเดิมให้หดตัว หนึ่งจุดเชื่อมต่อ ไม่มีสมองอยู่บนเส้นทางนี้เลยแม้แต่จุดเดียว เวลาตั้งแต่ค้อนกระทบจนกล้ามเนื้อเริ่มทำงาน วัดด้วย electromyography ได้ราวยี่สิบถึงยี่สิบห้า มิลลิวินาทีในผู้ใหญ่ทั่วไป

ส่วนสัญญาณที่วิ่งขึ้นไปบอกสมองว่าเกิดอะไรขึ้น ใช้เวลามากกว่านั้นหลายเท่า

แปลว่าตอนที่ขาคุณเตะ คุณยังไม่ได้รู้ด้วยซ้ำว่ามันจะเตะ คุณไม่ได้ตัดสินใจ คุณได้รับแจ้ง

เรื่องนี้ฟังดูเหมือนข้อยกเว้นเล็กๆ ที่หมอเอาไว้อ้างไว้ใช้ตรวจว่าไขสันหลังยังทำงานอยู่ไหม แต่การเคาะเข้าไม่ใช่ข้อยกเว้น มันเป็นแค่กรณีที่เห็นง่ายที่สุด ของสิ่งที่เกิดขึ้นทั่วร่างกายคุณตลอดเวลาโดยไม่มีใครเอาค้อนมาเคาะ — ในดวงตา ในผิวหนัง ในมือที่กำลังถือแก้วน้ำอยู่ตอนนี้ และลึกลงไปถึงในเซลล์ที่ไม่มีเส้นประสาทให้พุดถึงด้วยซ้ำ

รูปแบบเหมือนกันหมดทุกที่ มีระบบหนึ่งที่ตอบก่อนและตอบหายับ กับอีกระบบหนึ่งที่ตอบทีหลังและตอบละเอียด สองระบบนี้ไม่ได้ผลัดกันเข้าเวร มันเดินพร้อมกัน คนละสาย ตลอดเวลา

คำถามของเล่มนี้จึงไม่ใช่ว่าระบบไหนคือตัวจริง ทั้งคู่จริงเท่ากัน คำถามคือทำไมต้องมีสองระบบ ทำไมรวมเป็นอันเดียวไม่ได้ และเราจ่ายอะไรไปกับการต้องมีทั้งสอง

ความเร็วกับความละเอียดไม่ได้แข่งกันเฉยๆ มันซี้กกันและกัน อยากรู้ความเร็วเพิ่มก็ต้องเก็บข้อมูลนานขึ้น อยากรู้ความเร็วเพิ่มก็ต้องตัดสินจากข้อมูลที่น้อยลง นี่ไม่ใช่ข้อจำกัดของเนื้อเยื่อประสาท กล้องดิจิทัลก็เจอข้อเดียวกัน เปิดหน้า

กล้องนานภาพก็ชัดแต่ของที่เคลื่อนไหวจะเบลอ เปิดสั่นภาพก็คมแต่มืด ไม่มีวิศกรคนไหน ไม่มีวิวัฒนาการสายไหน แก้อันนี้ได้

เมื่อแก้ไม่ได้ ทางออกเหลือทางเดียว คือไม่ต้องเลือก ทำทั้งสองอย่างพร้อมกันบนคนละสาย แล้วหาวิธีให้สองสายนั้นคุยกันที่หลัง

ที่เหลือของเล่มนี้คือเรื่องของ "ทีหลัง" นั้น

2 · เซลล์ที่ไวที่สุดในดวงตา คือเซลล์ที่ช้าที่สุด

เดินเข้าห้องมืดแล้วยืนรอสักสิบนาที ของที่ตอนแรกมองไม่เห็นเลยจะค่อยๆ โผล่ออกมา ขอบประตูกำกั มือของตัวเอง ทุกอย่างเป็นสีเทาหมด ไม่มีสีอื่น และถ้าจ้องตรงๆ ไปที่ของขึ้นไหน ของชิ้นนั้นจะหายไป ต้องเหลือบมองเฉยๆ ถึงจะเห็น

สามอาการนี้ไม่ใช่ความบกพร่องของดวงตา มันคือลายเซ็นของระบบที่สองที่เพิ่งเข้ามาทำงานแทนระบบแรก

จอตาของคุณมีเซลล์รับแสงสองชนิด **cone** หรือเซลล์รูปกรวย กระจุกตัวหนาแน่นที่กลางจอตา เห็นสี แยกรายละเอียดได้ละเอียดที่สุด และเป็นเซลล์ที่คุณกำลังใช้อ่านบรรทัดนี้อยู่ ข้อแลกเปลี่ยนมันต้องการแสงมาก **rod** หรือเซลล์รูปแท่ง อยู่รอบนอกเป็นหลัก ไม่เห็นสี ภาพหยาบ แต่ไวจนตอบโต้โฟตอนเดี่ยวได้ งานคลาสสิกของ Hecht, Schlaer และ Pirenne เมื่อปี 1942 วัดว่ามนุษย์รายงานว่าเห็นแสงวาบได้เมื่อมีโฟตอนตกถึงจอตาเพียงไม่กี่ตัว

ในภาษาพูด **ไว** กับ **เร็ว** ใช้แทนกันได้เกือบสนิท จมูกไวกับจมูกเร็วฟังดูแทบไม่ต่างกัน แต่ในเครื่องวัด สองคำนี้เป็นคนละปุ่ม และมักหมุนสวนทางกัน

ตาชั่งในห้องน้ำอ่านน้ำหนักคุณทันทีที่เหยียบ ละเอียดครึ่งกิโลกรัม — เร็ว แต่ไม่ไว ตาชั่งในห้องแล็บที่ชั่งได้ถึงระดับมิลลิกรัม ต้องยืนรอให้ตัวเลขนิ่ง สิบถึงยี่สิบวินาที — ไว แต่ไม่เร็ว และมันไม่ได้ช้าเพราะสร้างมาไม่ดี มันต้องรอเพราะมันจะไว สิ่งที่มีนัยยะระหว่างที่ตัวเลขยังวิ่งคือเฉลี่ยความสั่นรบกวนออกไป การเฉลี่ยกินเวลา และไม่มีวิธีเฉลี่ยแบบไหนที่ไม่กินเวลา

rod คือตาชั่งห้องแล็บ

ตัวเลขที่เทียบกันได้ตรงที่สุดคือความถี่การกะพริบที่แต่ละระบบยังตามทัน วัดด้วยการฉายแสงกะพริบแล้วถามว่าผู้ถูกทดลองเห็นเป็นแสงนิ่งหรือแสงกะพริบ cone ตามได้ราวห้าสิบถึงหกสิบครั้งต่อวินาที ซึ่งเป็นเหตุผลที่จอภาพต้องรีเฟรชเร็วกว่านั้นจึงจะดูนิ่ง rod ตามได้ที่อัตราต่ำกว่านั้นมาก และช่วงเวลาที่ rod ใช้รวมแสงก่อนจะรายงานออกมา ยาวกว่าของ cone หลายเท่า

rod จึงเป็นเซลล์ที่ไวที่สุดในดวงตา และเป็นเซลล์ที่ช้าที่สุดในดวงตา พร้อมกัน

rod หลายสิบเซลล์ส่งสัญญาณมารวมกันที่สายเส้นเดียว ศัพท์ของมันคือ **convergence** เอาสัญญาณอ่อนๆ หลายสิบเส้นมาบวกกัน แสงนิดเดียวก็ดังพอจะ ได้ยิน แสงที่เซลล์เดี่ยวแทบไม่รู้สึกรู้สีก พอบวกกันสี่สิบเซลล์ก็กลายเป็นสัญญาณจริง แต่บวกกันแบบนี้คือเฉลี่ย และเฉลี่ยแล้วต้องเสียสองอย่างเสมอ อย่างแรกคือตำแหน่ง — เมื่อสี่สิบเซลล์รายงานรวมกันเป็นเส้นเดียว ไม่มีใครรู้ว่าแสงมาจากเซลล์ไหน ภาพจึงหายาบ อย่างที่สองคือเวลา — ต้องรอให้ครบช่วงก่อนจึงบวกได้ สัญญาณจึงออกมาช้าลง

กลไกเดียวอธิบายทั้งความไว ความหายาบ และความช้า พร้อมกันทั้งสามข้อ และนั่นคือรูปแบบที่จะกลับมาซ้ำทั้งเล่ม ในระบบประสาท ของที่ดูเหมือนข้อบกพร่องสามข้อ มักเป็นราคาสามส่วนของสิ่งเดียวกัน

สามอาการตอนต้นบ่งชี้ปิดครบ ภาพเทาเพราะ rod ไม่มีตัวรับสี ภาพหายาบเพราะ convergence และของที่จ้องตรงๆ แล้วหายไป เพราะกลางจอตาเป็นที่ของ cone เกือบล้วน ซึ่งในท้องมืดแทบไม่ทำงาน จุดที่คมที่สุดในเวลากลางวัน คือจุดที่บอดที่สุดในเวลากลางคืน

ข้อนี้ตรวจเองได้ในคืนที่ฟ้าเปิด นักดูดาวใช้วิธีนี้มาเป็นร้อยปีและเรียกมันว่า **averted vision** — ดาวดวงที่จางที่สุดจะหายไปเมื่อคุณจ้องมันตรงๆ และโผล่กลับมาเมื่อคุณเหลือบมองเฉียงไปข้างๆ ดวงเดิม ฟ้าเดิม ต่างกันแค่ว่าแสงตกลงบนเซลล์ชนิดไหน

แล้วทำไมสองคำนี้ถึงสับสนกลับข้างกันได้ง่ายนัก

เพราะประสบการณ์ที่ค้ำมน้อยนั้นจริง ของที่แล่นเข้ามาทางหางตาแล้วคุณหันไปทันที เร็วกว่าที่จะคิดทัน มันเกิดที่รอบนอกจอตาจริง ซึ่งเป็นเขตของ rod

ทั้งสองอย่างเป็นจริงพร้อมกันได้ เพราะตัวที่เร็วในเหตุการณ์นั้นไม่ใช่เซลล์รับแสง ความเร็วในการมองเห็นไม่ได้ถูกตัดสินที่ชั้นของเซลล์ที่รับแสง แต่ถูกตัดสินที่ชั้นของสายที่ขนสัญญาณนั้นออกจากดวงตา และสองชั้นนั้นแยกกันจริง

3 · สายสองเส้นที่ออกจากดวงตา

แล้วตัวที่เรานั้นอยู่ตรงไหน อยู่ถัดไปอีกชั้นหนึ่ง ตรงที่สัญญาณกำลังจะออกจากดวงตา

จอตาของคุณมีเซลล์รับแสงราวหนึ่งร้อยยี่สิบหกล้านเซลล์ และเส้นประสาทตาที่พาสัญญาณออกจากดวงตามีสายราวหนึ่งล้านเส้น ตัวเลขสองตัวนี้ต่างกันราวร้อยเท่า

นั่นแปลว่าดวงตาต้องทิ้งของ ไม่ใช่เพราะออกแบบไม่ดี แต่เพราะท่อที่ต้องผ่านแคบกว่าของอยู่ร้อยเท่า และการบีบอัดทุกแบบในจักรวาลทำงานด้วยการตัดสินใจข้อเดียวกัน คือ **จะทิ้งอะไร**

คำตอบของจอตาคือไม่ตอบคำถามนี้ครั้งเดียว มันตอบสองครั้ง คนละคำตอบ แล้วส่งทั้งสองคำตอบออกไปพร้อมกันบนสายคนละชนิด

สายชนิดแรกมีชื่อว่า **magnocellular pathway** ต้นทางคือเซลล์ ganglion ขนาดใหญ่ที่เรียกว่า parasol cell คิดเป็นราวหนึ่งในสิบของสายทั้งหมด คุณสมบัติของมันมาเป็นชุด แยกชนาหนา นำสัญญาณเร็ว รับข้อมูลจากพื้นที่กว้าง ไม่แยกสี และตอบแบบ transient คือดังตอนที่ของเปลี่ยน แล้วเงียบเมื่อของอยู่นิ่ง

สายชนิดที่สองคือ **parvocellular pathway** ต้นทางคือ midget cell ขนาดเล็ก คิดเป็นราวเจ็ดถึงแปดในสิบ แยกชนาบางกว่า นำสัญญาณช้ากว่า รับข้อมูลจากจุดเล็ก แยกสีแดงกับเขียวได้ และตอบแบบ sustained คือดังต่อเนื่องตลอดเวลาที่ของยังอยู่ที่นั่น

ดวงตาทำงานเหมือนห้องข่าว ข่าวด่วนวิ่งบนสายหนึ่งในสิบ ข่าวเจาะลึกวิ่งบนสายที่เหลือ ทั้งสองรายงานเหตุการณ์เดียวกัน แต่ข่าวด่วนถึงโต๊ะบรรณาธิการก่อน และไม่รอให้ข่าวเจาะลึกมายืนยัน

ผลต่างของความเร็วระหว่างสองสายนี้ วัดได้จากการบันทึกสัญญาณที่เปลือกสมองส่วนการเห็นแล้วดูว่าอะไรมาถึงก่อน สัญญาณจากสาย magno มาถึงก่อนสาย parvo

ราวสิบถึงยี่สิบมิลลิวินาที ตัวเลขนี้เป็นช่วงที่งานหลายชิ้นรายงานใกล้เคียงกัน ไม่ใช่ค่าคงที่ตัวเดียว และมันขยับได้ตามความสว่างและความแปรปรวนของสิ่งที่มอง

ภาพที่ง่ายที่สุดคือมองว่าสาย magno ส่งภาพเวอร์ชันหยาบมาก่อน แล้วสาย parvo ส่งภาพเวอร์ชันคมตามมาทีหลัง เหมือนรูปที่โหลดจากเน็ตช้า

สังเกตให้ดูว่านั่นไม่ใช่สิ่งที่เกิดขึ้น สาย magno ไม่ได้ส่งภาพเดียวกันที่หยาบกว่า มัน

ตอบคำถามคนละคำถาม

สาย magno ตอบว่ามีอะไรเปลี่ยน และเปลี่ยนที่ไหน สาย parvo ตอบว่าของชิ้นนั้นคืออะไร ทั้งสองคำถามใช้ข้อมูลไม่เหมือนกัน คำถามแรกต้องการพื้นที่ที่กว้างและเวลาที่แม่นยำ แต่ไม่ต้องการสีหรือรายละเอียดเลย คำถามที่สองต้องการรายละเอียดและสี แต่ไม่ต้องการความเร็ว เพราะของที่ คุณจะระบุว่าคืออะไร ส่วนใหญ่ยังอยู่ที่นั่นให้ดูต่ออีกหลายวินาที

เมื่อสองคำถามต้องการข้อมูลคนละชุด การส่งข้อมูลชุดเดียวไปให้ทั้งสองคำถามใช้คือการจ่ายค่าของทั้งคู่แล้วได้คำตอบที่แย่งทั้งคู่

และสองสายนี้ไปกันคนละที่จริง ๆ ไม่ใช่แค่ต่างกันตอนเดินทาง สาย magno เป็นแหล่งป้อนหลักของเส้นทางที่วิ่งขึ้นไปทางกลีบ parietal ซึ่งทำงานเรื่องตำแหน่งและการเคลื่อนไหว สาย parvo ป้อนเส้นทางที่วิ่งลงไปทางกลีบ temporal ซึ่งทำงานเรื่องการระบุว่าของชิ้นนั้นคืออะไร ชื่อที่ใช้เรียกสองเส้นทางนี้คือ dorsal stream กับ ventral stream และการแบ่งงานแบบนี้ถูกเสนอไว้ตั้งแต่งานของ Ungerleider และ Mishkin ปี 1982

นี่คือเหตุผลที่คุณหลบของที่พุ่งเข้าหาหน้าได้ก่อนจะรู้ว่ามันคืออะไร ไม่ใช่เพราะสมองรีบตัดสินใจจากข้อมูลที่ยังไม่ครบ แต่เพราะข้อมูลที่ต้องใช้ในการหลบ มาถึงครบแล้ว ตั้งแต่ตอนนั้น มันแค่ไม่ใช่ข้อมูลชนิดที่บอกได้ว่าของชิ้นนั้นคืออะไร

ดวงตาไม่ได้ส่งภาพหนึ่งภาพด้วยสองคุณภาพ มันส่งรายงานสองฉบับที่ตอบคำถามต่างกัน แล้วปล่อยให้สมองเย็บเข้าด้วยกันทีหลัง ความรู้สึกที่เราเห็นภาพเดียวภาพเดียวกันทั้งภาพ คือผลของการเย็บนั้น ไม่ใช่ของที่ดวงตาส่งมา

และถ้าการเย็บนั้นเป็นงานที่ทำทีหลังจริง ก็ต้องมีกรณีที่มันไม่ถูกเย็บ

4 . เห็นโดยไม่รู้ว่าเห็น

มองแก้วบนโต๊ะแล้วถามตัวเองว่าเห็นไหม คำตอบมาทันที และมันมาเป็นคำตอบเดียว การเห็นกับการรู้ว่าตัวเองเห็นไม่เคยแยกจากกันในชีวิตปกติ

สองอย่างนี้แยกกันได้ และคนที่มันแยกกันแล้วมีอยู่จริง

ในปี 1974 Weiskrantz และคณะรายงานผู้ป่วยรายหนึ่งที่เรียกในเอกสารว่า DB ซึ่งเปลือกสมองส่วนการเห็นด้านหนึ่งเสียหาย ผลตามตำราคือเขาควรตาบอดในลานสายตาครั้งนั้น และเมื่อถามเขา เขาก็รายงานแบบนั้น คือไม่เห็นอะไรเลย

วิธีถามที่เปลี่ยนคำตอบคือการไม่ถามว่าเห็นอะไร แต่บังคับให้เดา วางของไว้ในลานสายตาที่เขาบอกว่าบอด แล้วบอกว่าไม่ต้องบอกว่าเห็นอะไร แค่เดาว่ามันอยู่ซ้ายหรือขวา เดว่าเส้นนั้นเอียงทางไหน

เขาเดาถูกมากกว่าการเดาสุ่มอย่างชัดเจน และเขายืนยันตลอดว่าเขาไม่ได้เห็นอะไร เขาเดา ปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า **blindsight**

คำอธิบายที่เข้ากับกายวิภาคคือเรื่องของบทก่อน สัญญาณจากจอตาไม่ได้ไปที่เปลือกสมองส่วนการเห็นทั้งหมด ส่วนหนึ่งเลี้ยวเข้า **superior colliculus** ซึ่งเป็นโครงสร้างกลางสมองที่เก่าแก่กว่าเปลือกสมองมาก และคุมการกลอกตาไปหาสิ่งเร้าโดยตรง เส้นทางนี้ไม่ผ่านบริเวณที่เสียหายในผู้ป่วยกลุ่มนี้ จึงยังทำงานอยู่

ข้อที่ต้องบอกไว้ตรงนี้คือการตีความ blindsight ยังไม่ยุติ ข้อค้านที่หนักที่สุดคือแสงที่กระเจิงไปตกในลานสายตาส่วนที่ยังดี และเนื้อเปลือกสมองที่เหลืออยู่เป็นหย่อม ๆ ซึ่งอาจพอทำงานได้โดยไม่พอทำให้รู้ตัว งานรุ่นหลังออกแบบมาเพื่อกันสองข้อนี้ และผลยังไม่ปิดเรื่อง สิ่งที่เปิดแล้วคือมีคนที่ทำให้ดีกว่าการเดาสุ่มในลานสายตาที่เขารายงานว่บอด ส่วนที่ยังเปิดคือมันอาศัยเส้นทางไหน

แต่มีหลักฐานอีกชุดที่ทำให้ข้อสรุปเรื่องการแยกกันแข็งขึ้นมาก และมันมาจากผู้ป่วยที่เสียความสามารถ กลับข้างกัน

ในปี 1991 Milner, Goodale และคณะรายงานผู้ป่วยที่เรียกว่า DF ซึ่งมีความเสียหายที่เส้นทาง ventral คือเส้นทางที่ตอบว่าของคืออะไร อาการของเธอคือ visual form agnosia เมื่อเอาช่องแคบ ๆ มาวางแล้วถามว่าช่องนี้เอียงทางไหน เธอตอบไม่ได้ และเมื่อให้ใช้มือทำมุมตามช่องนั้น เธอก็ทำไม่ได้

แล้วถ้าส่งการ์ดให้เธอ บอกว่าหย่อนลงในช่อง เธอหย่อนได้ หมุนข้อมือให้ตรงกับช่องได้แม่นยำ ๆ กับคนปกติ

เธอไม่รู้วางช่องเอียงทางไหน แต่มือของเธอรู้

และมีผู้ป่วยที่เป็นภาพกลับของเธอ คือกลุ่มที่เสียหายทางเส้นทาง dorsal อาการเรียกว่า optic ataxia คนกลุ่มนี้บอกได้ว่าของอยู่ที่ไหน รูปทรงอะไร เอียงเท่าไร แต่เอื้อมไปหยิบไม่แม่นยำ

การมีผู้ป่วยสองกลุ่มที่เสียความสามารถกลับข้างกัน มีน้ำหนักมากกว่าการมีผู้ป่วยกลุ่มเดียวคนละชั้น เพราะผู้ป่วยกลุ่มเดียวอธิบายได้ด้วยความเสียหายที่รุนแรงบางส่วนเสมอ ถ้าความเสียหายชนิดหนึ่งลบ ก. โดยเหลือ ข. และความเสียหายอีกชนิดลบ ข. โดยเหลือ ก. คำอธิบายว่า "เสียหายมากหรือน้อย" ใช้ไม่ได้อีก ต้องมีของสองชั้นจริง แบบแผนนี้เรียกว่า double dissociation และมันเป็นวิธีออกแบบหลักฐานที่แข็งแกร่งที่สุดวิธีหนึ่งในประสาทวิทยาคลินิก

การเห็นจึงไม่ใช่ของชั้นเดียวที่มีมากหรือน้อย มันคือของหลายชั้นที่ปกติมาพร้อมกันจนไม่มีใครเห็นรอยต่อ และรอยต่อนั้นมีอยู่ มันโผล่ให้เห็นเมื่อชั้นหนึ่งหายไป

และรอยต่อนั้นไม่ได้อยู่ในดวงตาอย่างเดียว ถ้าการรู้ตัวว่าเห็น เป็นของอีกชั้นที่แยกจากการใช้สิ่งที่เห็นได้ ก็ไม่มีเหตุผลอะไรที่รูปแบบนี้จะหยุดอยู่แค่ในระบบการมองเห็น และมันไม่หยุด

5 . ความเจ็บที่มาถึงสองครั้ง

คนที่เดินชนขอบเตียงตอนกลางคืนจะรู้จักจังหวะหนึ่งที่ยอธิบายยาก คือช่วงเจ็บสั้น ๆ ระหว่างการกระทบกับความเจ็บ ในจังหวะนั้นคุณรู้แล้วว่าชน รู้ว่านิ้วไหน และรู้ว่ากำลังจะเจ็บ แต่ยังไม่เจ็บ

จังหวะนั้นไม่ใช่ความรู้สึกส่วนตัว มันคำนวณได้จากความเร็วของสายไฟ

เส้นใยประสาทที่พาสัญญาณความเจ็บมีสองชนิดหลัก ชนิดแรกคือ **A-delta fibre** มีปลอก myelin หุ้ม นำสัญญาณได้รวดเร็วถึงสามสิบเมตรต่อวินาที ชนิดที่สองคือ **C fibre** ไม่มีปลอกหุ้ม นำสัญญาณได้ช้าครึ่งเมตรถึงสองเมตรต่อวินาที Erlanger และ Gasser เป็นคนจัดกลุ่มเส้นใยตามความเร็วแบบนี้ และได้รางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาและแพทย์ปี 1944 จากการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเส้นใยประสาทแต่ละชนิด

เอาตัวเลขนั้นมาคูณระยะทาง ระยะจากปลายนิ้วเท้าถึงไขสันหลังราวหนึ่งเมตร สัญญาณบน A-delta ที่วิ่งสิบห้าเมตรต่อวินาทีใช้เวลาราวเจ็ดสิบลิววินาที สัญญาณบน C fibre ที่วิ่งหนึ่งเมตรต่อวินาทีใช้เวลาราวหนึ่งวินาที

ต่างกันสิบกว่าเท่า จากเหตุการณ์เดียวกัน ที่จุดเดียวกัน ในวินาทีเดียวกัน

และความเจ็บสองระลอกนั้นรู้สึกไม่เหมือนกันด้วย ระลอกแรกที่มาทาง A-delta เป็นความเจ็บแบบแหลม คม และระบุตำแหน่งได้ชัด คุณบอกได้ว่านิ้วไหน ระลอกที่สองที่มาทาง C fibre เป็นความเจ็บแบบแสบตื้อ กระจาย และบอกตำแหน่งได้แยกว่ามาก ชื่อที่ใช้ในตำราคือ first pain กับ second pain

หลักฐานที่แยกสองระลอกนี้ออกจากกันได้ตรงที่สุดคือการปิดกั้นเส้นใยที่ละชนิด เมื่อปิดกั้นเส้นใยชนิดที่มีปลอกหุ้ม ความเจ็บแหลมระลอกแรกหายไป เหลือแต่ความเจ็บตื้อ ๆ ที่มาช้า เมื่อปิดกั้นกลับข้าง ผลก็กลับข้าง

ทำไมสายที่สองถึงช้าไม่ใช่คำถาม สายที่ไม่มีปลอกหุ้มก็ต้องช้าอยู่แล้ว คำถามคือทำไมสายที่ช้ายังอยู่ ทำไมไม่หุ้มปลอกให้มันทั้งหมด

สองระลอกนี้ทำงานคนละอย่าง ไม่ใช่งานเดียวกันที่มาไม่พร้อมกัน

ระลอกแรกมีไว้ให้คุณเอาตัวออก มันต้องเร็วและต้องระบุตำแหน่งให้ชัด เพราะการดึงมือออกจากเตาที่ร้อนจะไม่มีประโยชน์ถ้าดึงผิดมือ และความเจ็บแบบนั้นไม่จำเป็นต้องอยู่นาน หน้าที่มีมันจบตอนที่มือพ้นเตา

ระลอกที่สองมีไว้ให้คุณดูแลของที่เสียหาย และงานนั้นไม่ได้วัดด้วยความเร็ว มันวัดด้วยระยะเวลา ความเจ็บที่ทำให้คุณเดินระวังนั้นไปอีกสามวัน ต้องอยู่ได้สามวัน ความเจ็บที่แหลมและหายเร็วทำงานนี้ไม่ได้ ไม่ใช่เพราะมันอ่อนเกินไป แต่เพราะมันสั้นเกินไป

ความหวังของสายที่สองจึงไม่ใช่ข้อบกพร่องที่ยังแก้ไขไม่เสร็จ มันคือคุณสมบัติที่ทำให้สายที่สองทำงานอีกอย่างได้ และงานนั้นไม่มีใครทำแทนได้ เพราะมันต้องการสิ่งที่สายเร็วไม่มี

รูปแบบนี้เริ่มซับซ้อนขึ้นเรื่อย ๆ แล้ว ในดวงตา สายสองเส้นตอบคำถามต่างกัน ในความเจ็บ สายสองเส้นทำงานต่างกัน ไม่มีที่ไหนที่สายช้าเป็นแค่เวอร์ชันที่ยังพัฒนาไม่เสร็จของสายเร็ว

เหลือคำถามข้อหนึ่งที่ยังไม่ถูกตอบ และมันเป็นข้อที่การเคาะเข้าในบทแรกทิ้งไว้ ถ้าสายเร็วทำงานด้วยวงจรที่ตายตัวจนมองไม่ได้อยู่ในเส้นทางเลย สายเร็วก็น่าต้องโง่เสมอ

ข้อนั้นวัดแล้ว และมันไม่จริง

6 . รีเฟล็กซ์ที่รู้ว่าคุณกำลังถืออะไรอยู่

การเคาะเข้าในบทแรกทิ้งข้อสรุปที่ดูหลีกเลี่ยงไม่ได้ไว้ข้อหนึ่ง วงจรที่ไม่มีสมองอยู่ในเส้นทางเลย ย่อมไม่รู้อะไรทั้งนั้น มันทำเท่าเดียวทุกครั้งที่ถูกกระตุ้น ไม่ว่าคุณกำลังทำอะไรอยู่ ถ้านั่นคือทั้งหมดของสายเร็ว คำว่าเร็วก็ต้องมาพร้อมคำว่าโง่เสมอ

ข้อนี้ถูกวัดแล้ว

ให้คนหนึ่งถือด้ามจับไว้ แล้วดันด้ามนั้นให้ขยับโดยไม่บอกล่วงหน้า ในขณะเดียวกันบันทึกไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อแขนด้วย electromyography สิ่ง queen ในบันทึกไม่ใช่การตอบสนองครั้งเดียว มันมาเป็นระลอก

ระลอกแรกมาถึงราวยี่สิบถึงห้าสิบลิลิวินาทีหลังการดัน นี่คือน **short-latency response** และมันคือวงจรเดียวกับการเคาะเข้า คือวิ่งขึ้นไขสันหลังแล้วกลับ

ระลอกที่สองมาถึงราวห้าสิบลึงถึงหนึ่งร้อยมิลลิวินาที เรียกว่า **long-latency response** ระลอกนี้ช้าเกินกว่าจะเป็นวงจรในไขสันหลังล้วน ระยะเวลาของมันพอดีกับการวิ่งขึ้นไปถึงเปลือกสมองแล้วกลับลงมา

และการตอบสนองด้วยเจตนา คือเมื่อคนคนนั้นตั้งใจจะทำอะไรกับแรงที่มาดัน มาถึงราวหนึ่งร้อยห้าสิบลิลิวินาทีขึ้นไป

ระลอกที่สองจึงอยู่ในช่องว่างที่น่าสนใจที่สุด มันช้ากว่ารีเฟล็กซ์ไขสันหลัง และเร็วกว่าการตัดสินใจ

ของที่ทำให้ระลอกที่สองสำคัญไม่ใช่เวลาของมัน แต่คือสิ่งที่เปลี่ยนมันได้ ถ้าบอกคนคนนั้นไว้ล่วงหน้าว่าเมื่อถูกดันให้ดัน ขนาดของระลอกที่สองจะต่างจากเมื่อบอกว่าถูกดันแล้วปล่อยไปตามแรง แรงที่มาดันเท่าเดิม กล้ามเนื้อมัดเดิม เวลาเดิม ต่างกันที่คำสั่งที่ได้รับไว้ก่อน

และผลนั้นปรากฏในระลอกที่เร็วกว่าเวลาที่คนคนนั้นจะตัดสินใจอะไรได้ทัน

เรื่องเดียวกันเกิดขึ้นในชีวิตปกติทุกวัน คนที่ถือแก้วน้ำเต็มแล้วถูกคนเดินสวนชนไหล่ จะแก้ท่าไม่เหมือนคนที่ถือแก้วเปล่า การชนเหมือนกัน ร่างกายเดียวกัน แต่การแก้ต่าง กัน และมันเกิดเร็วกว่าที่ใครจะคิดว่า "ระวังน้ำหก"

สังเกตให้ดูว่าสิ่งที่เปลี่ยนไม่ใช่ความเร็วของวงจร วงจรยังเร็วเท่าเดิม สิ่งที่เปลี่ยนคือค่า ที่วงจรนั้นถูกตั้งไว้ล่วงหน้า

ความฉลาดของสายเร็วไม่ใช่ความฉลาดที่คิดขึ้นตอนนั้น มันคือความฉลาดที่ถูกเขียน ลงไปก่อนหน้านี้ สายช้าเป็นคนเขียน และเขียนเสร็จก่อนเหตุการณ์ พอเหตุการณ์มาถึง สายเร็วไม่ต้องคิดอะไรเลย มันแค่ทำตามค่าที่ตั้งไว้ และนั่นคือเหตุผลที่มันทันขณะที่ การคิดไม่ทัน

เร็วจึงไม่เท่ากับโง่ แต่ความไม่โง่ของสายเร็วเป็นของที่มาถึงก่อนเสมอ ไม่ใช่ของที่ เกิดขึ้นตอนนั้น สายเร็วไม่ได้ฉลาดขึ้นระหว่างเหตุการณ์ มันฉลาดขึ้นระหว่างที่ไม่มี เหตุการณ์อะไรเลย

ข้อจำกัดของตัวเลขในบทนี้ต้องบอกไว้ ช่วงเวลาของแต่ละระลอกขยับตามกล้ำม เนื้อที่วัด ตามระยะทางจากไขสันหลัง และตามวิธีที่ใช้กระตุ้น ตัวเลขข้างบนเป็นช่วงที่ รายงานกันในงานกลุ่มนี้ ไม่ใช่ค่าคงที่สำหรับทุกกล้ำมเนื้อ สิ่งที่ไม่ขยับคือลำดับ คือรี เฟล็กซ์ไขสันหลังมาก่อน ระลอกที่ผ่านเปลือกสมองมาที่สอง และเจตนาสุดท้ายสุด

เหลืออีกข้อที่ยังค้าง ถ้าสายช้าเป็นคนตั้งค่าไว้ล่วงหน้า สายช้ารู้ล่วงหน้าได้อย่างไรว่า จะเกิดอะไรขึ้น

คำตอบอยู่ในบทถัดไป และมันไม่ได้แก้ปัญหความเร็วด้วยการทำให้อะไรเร็วขึ้นเลย

7 · ย่นสายไม่ได้ ก็ทำนาย

ปัญหาที่ระบบประสาทเจอเป็นปัญหาเดียวกับที่วิศวกรควบคุมทุกคนเจอ และมันมีชื่อคือความหน่วงในวงป้อนกลับ

ตัวเลขของมันในร่างกายคุณคำนวณได้ เส้นใยรับรู้ความรู้สึกที่เร็วที่สุดนำสัญญาณได้ราวห้าสิบถึงเจ็ดสิบเมตรต่อวินาที ระยะจากมือถึงสมองและกลับราวสองเมตร บวกเวลาที่ไข้ข้ามจุดเชื่อมต่อแต่ละจุด บวกเวลาที่ไข้ประมวลผล รวมแล้วนับจากที่มีมือทำอะไรลงไป จนถึงที่สมองใช้ผลของการกระทำนั้นได้ ใช้เวลาระดับร้อยมิลลิวินาที

ระบบควบคุมที่รอผลป้อนกลับที่หน่วงขนาดนั้นจะไม่นิ่ง มันจะแกว่ง เพราะทุกการแก้ไขถูกคำนวณจากสถานะที่เก่าไปแล้วหนึ่งร้อยมิลลิวินาที การแก้งจึงมาถึงตอนที่ของเลยจุดที่ต้องแก้ไขไปแล้ว แล้วก็ต้องแก้กลับ วนแบบนั้น ใครที่เคยเล่นเกมผ่านเน็ตที่หน่วงจะรู้จักอาการนี้ในมือของตัวเอง

การย่นสายไม่ใช่ทางออก ระยะจากมือถึงสมองเป็นเท่าไรก็เท่านั้น และความเร็วการนำสัญญาณของเส้นใยก็ขนพาดนทางกายภาพไปแล้ว

ทางออกที่ระบบประสาทใช้คือไม่รอ

ตอนที่สมองส่งคำสั่งออกไปที่กล้ามเนื้อ มันส่งสำเนาของคำสั่งนั้นไปที่อื่นด้วย สำเนานั้นเรียกว่า **efference copy** และที่ที่มันไปถึงจะเอาสำเนานั้นไปคำนวณล่วงหน้าว่า ถ้าคำสั่งนี้ทำงานตามที่สั่ง อีกร้อยมิลลิวินาทีข้างหน้า ผิวหนังควรรู้สึกอย่างไร ข้อต่อควรอยู่ตรงไหน ตาควรเห็นอะไร ตัวคำนวณนั้นเรียกว่า **forward model** และซีรีเบลลัมเป็นผู้ต้องสงสัยหลักในบทบาทนี้

พอความรู้สึกจริงเดินทางมาถึง มันไม่ได้ถูกใช้เพื่อบอกว่าเกิดอะไรขึ้น มันมาซ้ำเกินกว่าจะมีประโยชน์ในงานนั้นแล้ว มันถูกใช้เพื่อเทียบกับคำทำนาย

ถ้าตรง ไม่มีอะไรต้องทำ ถ้าไม่ตรง ผลต่างนั้นคือข้อมูล

สิ่งที่ถูกส่งขึ้นไปจึงไม่ใช่โลก มันคือส่วนที่โลกไม่ตรงกับคำทำนาย และส่วนนั้นเล็กกว่าโลกทั้งก้อนมาก ของที่เล็กกว่าเดินทางเสร็จเร็วกว่า และของที่คาดไว้ล่วงหน้าแล้วไม่ต้องรอใครมาบอก

คุณจิกจี้ตัวเองไม่ได้ เพราะมือของคุณเคลื่อนตามคำสั่งที่สมองส่ง สมองจึงมี efference copy ของคำสั่งนั้น และทำนายการสัมผัสที่กำลังจะเกิดไว้ล่วงหน้าได้แม่นยำพอความรู้สึกจริงมาถึงและตรงกับคำทำนาย มันถูกหักออกจนเหลือน้อย ความจิกจี้คือสิ่งที่เหลือจากการทำนายที่ไม่แม่นยำ

Blakemore, Wolpert และ Frith ทดลองเรื่องนี้ในปี 1998 ด้วยเครื่องที่ให้คนขยับมือข้างหนึ่งเพื่อสั่งให้แขนไปสัมผัสฝ่ามืออีกข้าง แล้วค่อย ๆ ใส่ความหน่วงเข้าไปในเครื่อง ผลคือยิ่งหน่วงมาก คนยิ่งรายงานว่าจิกจี้มากขึ้น การสัมผัสเหมือนกันทุกอย่างมือเดียวกัน แรงเดียวกัน ต่างกันแค่ความมั่นใจมาถึงตรงเวลาที่ทำนายไว้หรือไม่

เรื่องเดียวกันอธิบายของที่แปลกกว่านั้น เวลาคุณกลอกตาจากมุมห้องหนึ่งไปอีกมุม ภาพบนจอตาคุณกวาดข้ามด้วยความเร็วระดับหลายร้อยองศาต่อวินาที แต่คุณไม่เห็นโลกเบลอ เพราะสมองรู้ล่วงหน้าว่ามันสั่งให้ตากลอก และการกวาดที่ตรงกับคำทำนายนั้นถูกหักออก แต่ถ้ามีใครมาดันลูกตาคุณเบา ๆ โลกจะขยับให้เห็น เพราะการขยับนั้นไม่มีอะไรหัก จึงไม่มีคำทำนายให้หักออก

และมันอธิบายของที่คุ้นเจอตอนพิมพ์ด้วย คนที่พิมพ์คล่องมักรู้ว่าตัวเองพิมพ์ผิดก่อนที่จะอ่านเจอคำที่ผิด บางคนหยุดมือไว้แล้วค่อยมองขึ้นไปดู สมองไม่ได้รออ่านผลจากหน้าจอ มันเทียบสิ่งที่นิ้วทำกับสิ่งที่สั่งไว้ แล้วเจอความไม่ตรงก่อนที่ตาจะมีส่วนร่วม สัญญาณไฟฟ้าจากศีรษะที่โผล่ขึ้นมาไม่กี่สิบลิลลิวินาทีหลังการตอบที่ผิด ถูกรายงานไว้ตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1990 โดย Falkenstein และคณะ และโดย Gehring และคณะ และมันปรากฏก่อนที่ผู้ถูกทดลองจะได้รับการบอกว่าตอบผิด

ความเร็วที่แท้จริงจึงไม่ได้มาจากการเดินทางที่สั้นลง มันมาจากการไม่ต้องรอ ระบบที่ทำนายได้ดีไม่ได้ทำให้สายไฟเร็วขึ้นเลยแม้แต่เมตรต่อวินาทีเดียว มันแค่ไม่ต้องใช้สายนั้นเพื่อรู้ของที่อยู่แล้ว

และตรงนี้ขึ้นส่วนทั้งหมดต่อกันได้ สายชำรูล่วงหน้าได้เพราะมันทำนาย มันตั้งค่าให้
สายเร็วไว้ก่อนได้เพราะมันทำนาย และมันตรวจงานของสายเร็วได้ถูก เพราะมันถือ
สำเนาคำสั่งอยู่ในมือ ไม่ต้องไปทำงานนั้นใหม่เอง

เหลือคำถามสุดท้ายของโครงสร้างนี้ เมื่อสายชำตราจเสร็จแล้วพบว่าสายเร็วทำผิด
มันทำอะไรได้

คำตอบไม่ใช่การห้าม เพราะห้ามไม่ทัน

8 · ตอนที่สายเข้ามาถึง

ถ้าสายเร็วลงมือไปแล้ว การมาถึงของสายช้าก็ดูเหมือนไม่มีประโยชน์ ขาเตะไปแล้ว มือดึงออกไปแล้ว คำพูดออกจากปากไปแล้ว การมาถึงหลังของของที่ละเอียดกว่า ในเมื่อของนั้นทำอะไรไม่ได้ ฟังดูเหมือนการออกแบบที่เสียของ

ของที่สายช้าแก้ไขเหตุการณ์ มันคือค่าที่ตั้งไว้สำหรับครั้งหน้า

บทที่ 6 แสดงว่าสายเร็วทำงานตามค่าที่ถูกตั้งไว้ล่วงหน้า บทที่ 7 แสดงว่าสายช้าถือสำเนาคำสั่งของสายเร็วอยู่ เอาสองข้อนี้มาต่อกันจะได้วงจรที่ปิดครบ สายช้าอ่านสำเนาคำสั่ง เทียบกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง คำนวณผลต่าง แล้วเอาผลต่างนั้นไปแก้ค่าที่สายเร็วจะใช้ในครั้งถัดไป

วงจรนี้เห็นได้ชัดที่สุดตอนหัดทำอะไรใหม่

สัปดาห์แรกที่หัดขี่จักรยาน ทุกอย่างผ่านทางช้า คุณคิดเรื่องมือ คิดเรื่องน้ำหนัก คิดเรื่องแฮนด์ เกร็งทั้งตัว และล้ม หนึ่งเดือนต่อมาคุณขี่ได้โดยไม่ต้องมีอะไรผ่านความคิดเลย สิ่งที่ไม่เปลี่ยนไม่ใช่ความเร็วในการคิดของคุณ มนุษย์ไม่คิดเร็วขึ้นในหนึ่งเดือน สิ่งที่เปลี่ยนคือความรู้ที่มันถูกย้ายที่ มันถูกเขียนลงในค่าที่สายเร็วใช้ จนไม่ต้องคิดอีก

การย้ายนั้นใช้เวลา

วัตถุดิบนั้นคือความผิดพลาดของสายเร็ว ผลต่างระหว่างคำทำนายกับความจริงคือของชิ้นเดียวที่บอกได้ว่าค่าที่ตั้งไว้ผิดไปทางไหนและเท่าไร ไม่มีผลต่าง ก็ไม่มีข้อมูลสำหรับแก้ค่า สายเร็วที่ไม่เคยผิดจึงเป็นสายเร็วที่ไม่เคยดีขึ้น

ข้อต่อไปนี้เป็นกรขยายจากกลไก ไม่ใช่ผลที่วัดมาจากองค์กรจริง และควรอ่านแบบนั้น ระบบที่ลงโทษความผิดของสายเร็วจะไม่ได้สายเร็วที่แม่นยำ มันจะได้สายเร็วที่ลังเล เพราะทางเดียวที่ระบบเร็วจะลดความผิดพลาดของตัวเองได้ คือรอข้อมูลให้ครบขึ้นก่อนตอบ และการรอข้อมูลให้ครบขึ้นก่อนตอบคือคำนิยามของสายช้า สายเร็วที่ถูกกดดันให้ถูกจึงกลายเป็นสายช้าที่ช้ากว่าเดิมและแย่กว่าเดิม เพราะมันไม่ได้ถูกสร้างมาให้ทำงานนั้น

สังเกตให้ดีกว่าการแบ่งงานนี้เรียกรื่องของสองอย่างที่ต้องมาคู่กันเสมอ อย่างแรกคือพื้นที่การกระทำของสายเร็วต้องเล็กและย้อนกลับได้ รีเฟล็กซ์ขอแขนได้ กระพริบตาได้ ดึงมือออกได้ ทั้งสามอย่างนี้ถอนคืนได้ทั้งหมดถ้ามันผิด สายเร็วในร่างกายคุณไม่มีอำนาจทำอะไรที่ถอนคืนไม่ได้เลย และนั่นคือเหตุผลเดียวที่ปล่อยให้มันผิดบ่อย ๆ ได้ อย่างปลอดภัย

อย่างที่สองคือสายช้าต้องได้สำเนาคำสั่ง ไม่ใช่ได้แค่ผลลัพธ์ เพราะถ้ามันเห็นแค่ผลลัพธ์ มันจะแยกไม่ออกว่าผลที่ผิวนั้นเกิดจากคำสั่งที่ตึงไว้ผิด หรือเกิดจากโลกที่เปลี่ยนไป และการแก้ค่าจากข้อมูลที่แยกสองอย่างนี้ไม่ออก จะทำให้ค่านั้นแย่งลง

ทั้งสองข้อนี้เป็นเรื่องของโครงสร้าง ไม่ใช่เรื่องของความระมัดระวัง ร่างกายคุณไม่ได้ปลอดภัยเพราะรีเฟล็กซ์ของคุณรอบคอบ มันปลอดภัยเพราะรีเฟล็กซ์ของคุณทำอะไรร้ายแรงไม่ได้ตั้งแต่ต้น

และเมื่อโครงสร้างนี้มาถึงระดับที่พื้นที่การกระทำของสายเร็วใหญ่ขึ้น หรือย้อนกลับไม่ได้ ราคาก็เปลี่ยนไปทันที

ข้อนี้เป็นเรื่องของบทสุดท้าย ก่อนถึงตรงนั้นยังมีเรื่องที่ต้องเคลียร์อยู่สองเรื่อง เรื่องแรกคือข้ออ้างที่รูปทรงเข้ากับทั้งเล่มนี้พอดี แต่หลักฐานไม่แข็งแรงเท่าที่ควร

9 . ข้ออ้างที่รูปทรงถูกแต่หลักฐานอ่อน

คุณเห็นเชือกขดอยู่บนพื้นแล้วกระโดดถอย ก่อนจะรู้ว่ามันเป็นเชือก

คำอธิบายที่ Joseph LeDoux เสนอไว้ในหนังสือ **The Emotional Brain** ปี 1996 คือ ความกลัวเดินทางบนสองเส้นทาง เส้นทางหนึ่งวิ่งจาก thalamus ตรงเข้า amygdala โดยไม่ผ่านเปลือกสมอง จึงเร็ว หยิบ และทำให้คุณกระโดดหนีก่อน อีกเส้นทางวิ่งผ่านเปลือกสมอง จึงช้ากว่า ละเอียดยกว่า และเป็นเส้นทางที่มากบอกทีหลังว่าไม่ใช่งู ชื่อที่ติดมากับเรื่องนี้คือ low road กับ high road

รูปทรงของมันเข้ากับทุกบทในเล่มนี้พอดี นั่นคือปัญหา

ข้อที่อันตรายไม่ใช่ข้อที่ผิดจนเห็นได้ แต่เป็นข้อที่รูปทรงถูกและหลักฐานอ่อน

ทุกบทที่ผ่านมาเรามีของอยู่สองชิ้นคู่กัน คือข้ออ้างเรื่องสองสาย และการวัดที่แยกสองสายนั้นออกจากกันได้ ความถี่การกะพริบแยก rod จาก cone ลำดับที่สัญญาณมาถึงเปลือกสมองแยก magno จาก parvo ผู้ป่วยที่เสียความสามารถกลับข้างกันแยก dorsal จาก ventral การปิดกั้นเส้นใยที่ละชนิดแยก first pain จาก second pain และคำสั่งที่ให้ไว้ล่วงหน้าแยกกระลอกที่ผ่านเปลือกสมองออกจากรีเฟล็กซ์ไขสันหลัง

เรื่อง low road มีชั้นแรกครบ ชั้นที่สองอ่อนกว่านั้นมาก

กรอบนั้นมาจากการทดลองในหนู และในหนู หลักฐานเรื่องทางเข้าใต้เปลือกสมองสู่ amygdala มีน้ำหนักจริง

สิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากนั้นคือกรอบนี้ถูกย้ายมาใช้กับมนุษย์ และในมนุษย์ ข้อสรุปยังไม่ปิด Pessoa และ Adolphs เขียนบทปริทัศน์ใน Nature Reviews Neuroscience ปี 2010 ชื่อที่บอกข้อสรุปของมันไว้ในตัว คือการเสนอให้เลิกเรียกมันว่าถนนสายเร็วสายเดียว และมองว่าเป็นถนนหลายสาย ส่วน LeDoux เองเขียนบทความใน Neuron ปี 2012 ทบทวนกรอบของตัวเอง และงานรุ่นหลังของเขาแยกให้ชัดเจนเรื่อย ๆ ระหว่างวงจรที่ตรวจจับภัยคุกคาม กับประสบการณ์ของความกลัว ซึ่งเป็นสองเรื่องที่ถูกรวบเป็นเรื่องเดียวระหว่างทาง

คำถามสองข้อที่ต้องแยกกันคือ เส้นทางใต้เปลือกสมองนั้นมีอยู่ไหม กับเส้นทางนั้น
จำเป็นต่อการตอบสนองที่เร็วในมนุษย์ไหม ข้อแรกมีหลักฐานมากกว่าข้อที่สอง และ
กรอบที่ย้ายมาใช้กับมนุษย์ตอบทั้งสองข้อว่าใช่พร้อมกัน

สิ่งที่ทำให้เรื่องนี้เดินทางได้ไกล ไม่ใช่ความแข็งของหลักฐาน มันคือความพอดีของ
รูปทรง

เล่มนี้ไม่วางน้ำหนักอะไรไว้บนข้ออ้างนั้น ถ้าเรื่อง low road ถูกล้มทั้งหมดในปีหน้า ไม่
มีบทไหนในเล่มนี้ต้องเขียนใหม่

ของที่ต้องเคลียร์อีกเรื่องหนึ่งอยู่ในทางกลับกัน คือถ้าสถาปัตยกรรมนี้เป็นเรื่องของ
ระบบประสาทจริง มันก็ควรหายไปในที่ที่ไม่มีระบบประสาท

ข้อนั้นทดสอบได้ และผลออกมาไม่เป็นอย่างนั้น

10 . โค้ดเบสที่ merge ไม่จบ

ทุกอย่างในเล่มนี้จนถึงบทก่อนเป็นเรื่องของเซลล์ประสาท ซึ่งทำให้เกิดคำถามที่ควรถามกับข้ออ้างทุกข้อที่ดูกว้าง คือมันเป็นคุณสมบัติของระบบประสาท หรือเป็นคุณสมบัติของสิ่งที่ต้องควบคุมอะไรภายใต้ความหน่วง

วิธีทดสอบคือไปดูที่ที่ไม่มีเซลล์ประสาทเลย

ในเซลล์ทุกเซลล์ของคุณมีไมโทคอนเดรีย และไมโทคอนเดรียเคยเป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ด้วยตัวเอง เมื่อราวหนึ่งพันห้าร้อยถึงสองพันล้านปีก่อน มันเข้าไปอยู่ในเซลล์อื่นแล้วไม่ได้ออกมาอีก ข้อนี้ไม่ใช่การเปรียบเทียบ มันมีหลักฐานของตัวเอง คือไมโทคอนเดรียยังมี DNA เป็นวงของตัวเอง มีระบบสร้างโปรตีนของตัวเอง และมีเยื่อสองชั้นแบบที่เข้ากับการถูกกลืนเข้าไป กรอบอธิบายนี้ถูกผลักดันโดย Lynn Margulis ในงานปี 1967 และปัจจุบันเป็นคำอธิบายมาตรฐาน

DNA ของไมโทคอนเดรียในมนุษย์มีขนาด 16,569 คู่เบส และมียีนอยู่ 37 ตัว ในจำนวนนั้น 13 ตัวถอดรหัสเป็นโปรตีน ที่เหลือเป็น tRNA 22 ตัวและ rRNA 2 ตัว

ตัวเลขที่ต้องวางคู่กันเพื่อให้เห็นเรื่องคือจำนวนโปรตีนทั้งหมดที่ไมโทคอนเดรียใช้ทำงาน ซึ่งอยู่ในระดับหนึ่งพันตัวขึ้นไป โปรตีนเกือบทั้งหมดนั้นถูกเข้ารหัสไว้ในนิวเคลียส สร้างข้างนอก แล้วขนส่งเข้าไป

แปลว่ายีนกว่าเก้าสิบแปดเปอร์เซ็นต์ย้ายบ้านไปแล้ว เหลือสิบสามตัวที่ไม่ย้าย และเวลาที่ผ่านไปคือหนึ่งพันห้าร้อยล้านปี

คำถามคือทำไมสิบสามตัวนั้นไม่ย้าย

คำอธิบายที่ได้รับน้ำหนักมากที่สุดตอนนี้มีชื่อย่อว่า **CoRR** ย่อมาจาก co-location for redox regulation ผลักดันโดย John Allen ใจความคือโปรตีนสิบสามตัวนั้นเป็นชิ้นส่วนแกนกลางของโซ่ส่งอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นที่ที่พลังงานถูกผลิต และอัตราการสร้างขึ้นส่วนเหล่านั้นต้องปรับตามสภาพทางเคมีที่จุดนั้นเดี๋ยวนั้น การส่งข่าวออกไปถึงนิวเคลียสแล้วรอโปรตีนขนกลับมา ข้างในไปสำหรับการควบคุมชนิดนี้

ข้อนี้เป็นสมมติฐานนำ ไม่ใช่ข้อสรุป และมีคำอธิบายอื่นที่แข่งอยู่ ข้อที่แข็งที่สุดในกลุ่มนั้นคือคุณสมบัติทางเคมีของโปรตีนสิบสามตัวนี้เอง มันไม่ชอบน้ำมาก ซึ่งทำให้การขนส่งข้ามเยื่อเข้าไปทำได้ยาก ถ้าข้อนี้จริง สิบสามตัวนั้นไม่ได้อยู่เพราะมีประโยชน์ที่จะอยู่ มันอยู่เพราะย้ายไม่ได้ ทั้งสองคำอธิบายอาจถูกทั้งคู่ในสัดส่วนที่ยังไม่มีใครแยกออก

ถ้า CoRR ถูก สถาปัตยกรรมในเล่มนี้ก็เก๋กว่าเซลล์ประสาททราหนึ่งพันล้านปี และมันเป็นสถาปัตยกรรมเดียวกันคำต่อคำ คือ **เก็บผู้ควบคุมไว้ที่หน้างาน เพราะทางไปหาส่วนกลางช้าเกิน**

รีเฟล็กซ์ไขสันหลังในบทแรก เขียนไว้ด้วยภาษาของเคมี ก่อนที่จะมีกระดูกสันหลังให้เขียนถึง

สิบสามยีนนั้นยังเป็นข้อสอบที่ดีสำหรับประโยคที่ว่าชีวิตเขียนโค้ดมาดี

ถ้าโค้ดชุดนี้ดี มันควรย้ายให้จบ หนึ่งจีโนม หนึ่งที่เก็บ หนึ่งระบบสำเนา หนึ่งพันห้าร้อยล้านปีนานพอสำหรับงานที่เหลืออีกสิบสามชิ้นอย่างเหลือเฟือ แต่มันไม่จบ และค่าของการไม่จบยังถูกจ่ายอยู่ทุกวัน ไมโทคอนเดรียต้องมีระบบสำเนา DNA ระบบซ่อม DNA และระบบแปลรหัสของตัวเองแยกอีกชุดทั้งชุด เพื่อยีนสิบสามตัว โรคทางไมโทคอนเดรียทั้งกลุ่มเกิดจากรอยต่อที่ไม่เคยเรียบ และการที่ไมโทคอนเดรียถ่ายทอดทางแม่ข้างเดียว เป็นกฎที่ออกมาเพื่อกันไม่ให้จีโนมสองชุดขัดกัน ไม่ใช่การออกแบบที่สะอาด แต่เป็นข้อบังคับที่ตึงขึ้นเพื่อกลบปัญหาที่แก้ไม่ได้

นี่ไม่ใช่โค้ดที่ดี มันคือการรวมโค้ดเบสสองชุดเข้าด้วยกันแล้วไม่เคย refactor ให้จบ

โค้ดที่ดีคือโค้ดที่คนเขียนพอใจ ส่วนโค้ดที่ยังไม่ตายคือโค้ดที่ผ่านการทดสอบทุกวัน เป็นเวลาหนึ่งพันห้าร้อยล้านปีโดยไม่มีใครมาแก้ไข สองอย่างนี้ไม่เหมือนกัน และอย่างที่สองตรวจได้ ส่วนอย่างแรกเป็นเรื่องของรสนิยม

ชีวิตไม่ได้เขียนโค้ดสวย ชีวิตเขียนโค้ดที่ยังไม่ตาย

11 • ราคาของสถาปัตยกรรมนี้

เรื่องทั้งหมดนี้เล่าจบแบบที่ทำให้รู้สึกดีได้ไม่ยาก ธรรมชาติเจอข้อจำกัดที่แก้ไม่ได้ แล้วหาทางออกที่งดงาม สายเร็วลงมือ สายช้าสอน วงจรปิด จบ

การจบตรงนั้นจะเป็นการจบที่ไม่เชื่อสัจย์ เพราะคุณสมบัติทุกข้อที่ทำให้สถาปัตยกรรมนี้ทำงาน มีราคาที่ตามมาเป็นชุดเดียวกัน ไม่ใช่ผลข้างเคียงที่แยกออกได้

ข้อแรกอยู่ในบทที่ 8 แล้ว คือความรู้ที่สายช้าเขียนลงในสายเร็ว ถูกเขียนเพื่อให้ไม่ต้องคิดอีก นั่นคือจุดแข็งทั้งหมดของมันตอนที่คุณหัดขี่จักรยาน และมันเป็นคุณสมบัติเดียวกันที่ทำให้สิ่งที่ถูกเขียนลงไปแล้วลบยาก

ข้อนี้ไม่ใช่การเปรียบเทียบ มันวัดมาแล้วในห้องทดลองเรื่องการเรียนรู้ความกลัว สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อความกลัวที่เรียนมาแล้วหายไป ไม่ใช่การลบ มันคือการเรียนรู้ชุดใหม่ที่เข้าไปยับยั้งชุดเดิม ศัพท์ของมันคือ extinction และหลักฐานว่ามันไม่ใช่การลบมีอยู่สามข้อที่วัดซ้ำได้ ความกลัวที่หายไปแล้วกลับมาเองเมื่อเวลาผ่านไป กลับมาเมื่อกลับไปอยู่ในสถานที่เดิม และกลับมาเมื่อเจอสิ่งเร้าเดิมอีกครั้งแบบไม่คาดคิด งานกลุ่มนี้ในสัตว์ทดลองเชื่อมโยงกับชื่อของ Mark Bouton เป็นหลัก

ของที่ถูกเขียนไว้บนสายเร็วจึงไม่ถูกลบ มันถูกทับ และของที่อยู่ข้างล่างยังอยู่

ข้อนี้อธิบายของที่อธิบายกับตัวเองได้ยากที่สุดอย่างหนึ่ง คนที่เคยเจอเรื่องร้ายแรงแล้วยังสะดุ้งกับเสียงหรือกลิ่นบางอย่าง ไม่ได้คิดผิดเรื่องความปลอดภัยของสถานการณ์ตรงหน้า เขามักรู้ว่ามันปลอดภัย ความรู้นั้นอยู่บนสายช้า ส่วนของที่สะดุ้งอยู่บนสายเร็ว ซึ่งถูกเขียนด้วยกระบวนการอีกอย่างและไม่ได้อ่านสิ่งที่สายช้ารู้

เล่มนี้ไม่มีคำแนะนำในการรักษาอะไรจะให้ และไม่ควรมี สิ่งว่ามันพูดได้คือข้อเท็จจริงเชิงกลไกข้อเดียว คือการทำให้ของแบบนี้โบลงต้องอาศัยการเรียนรู้ชุดใหม่ ไม่ใช่การเรียนรู้ข้อเท็จจริงชุดใหม่ และนั่นคือเหตุผลที่การบอกตัวเองว่าไม่มีอะไรน่ากลัวแล้ว ไม่ค่อยได้ผล ไม่ใช่เพราะคำนั้นไม่จริง แต่เพราะมันถูกส่งไปที่สายที่ไม่ได้เป็นคนทำ

ข้อที่สองคือของที่เร็วที่สุดในตัวคุณ ทำงานจากของที่มันถูกป้อนมาทั้งชีวิต การตัดสินใจภายในเสี้ยววินาทีไม่ใช่ความบกพร่องของวงจร มันคือวงจรที่ทำงานถูกต้องตามค่าที่ถูกตั้งไว้ และค่านั้นถูกตั้งโดยทุกอย่างที่ผ่านตาผ่านหูมาก่อนหน้านั้นโดยไม่มีใครเลือก ข้อนี้ทำให้คำว่าอคติเปลี่ยนความหมายไปเล็กน้อย มันไม่ใช่ข้อบกพร่องทางศีลธรรมที่ตั้งใจ และก็ไม่ใช่ข้อแก้ตัว มันคือค่าที่ตั้งไว้แล้ว ซึ่งแก้ได้ด้วยวิธีเดียวกับที่มันถูกตั้ง คือใช้เวลาและใช้ของใหม่ป้อนซ้ำ ไม่ใช่ด้วยการตัดสินใจครั้งเดียว

ข้อที่สามเป็นข้อที่ควรพูดตรง ๆ สถาปัตยกรรมนี้ไม่ได้ถูกคัดเลือกมาเพื่อให้คุณมีความสุข และไม่ได้ถูกคัดเลือกมาเพื่อให้คุณเห็นโลกอย่างที่มันเป็น มันถูกคัดเลือกมาเพราะบรรพบุรุษของคุณที่มีมันรอดมามีลูกได้มากกว่าบรรพบุรุษที่ไม่มี นั่นคือทั้งหมดของเกณฑ์ ความสุขกับความแม่นยำไม่ได้อยู่ในเกณฑ์นั้น มันเข้ามาก็เมื่อมันช่วยเรื่องข้างต้นและหายไปเมื่อมันไม่ช่วย

สิ่งที่ทำได้กับเรื่องนี้ไม่ใช่การปิดสายเร็ว ปิดไม่ได้ และคนที่ปิดได้ก็จะไม่รอดข้ามถนน

สิ่งที่ทำได้คือรู้ว่ามันมีอยู่ คำตอบแรกที่ผุดขึ้นมาในหัวเวลาเจออะไร คือรายงานจากสายด่วน ไม่ใช่คำพิพากษา มันมาถึงก่อนเพราะมันถูกสร้างมาให้มาถึงก่อน ไม่ใช่เพราะมันถูกกว่าคำตอบที่มาทีหลัง และการรู้ข้อนี้ไม่ได้ทำให้มันเจ็บลง แต่มันเปลี่ยนสิ่งที่คุณทำกับมันในอีกสองร้อยมิลลิวินาทีถัดมา

สองร้อยมิลลิวินาทีนั้นคือระยะห่างทั้งหมดที่แยกการตอบสนองออกจากการตัดสินใจ

และในสัตว์ที่ถูกคัดเลือกมาเพื่อไม่ตายก่อนมีลูก การได้ระยะห่างนั้นมาแม้แต่บางครั้งก็มากกว่าที่เกณฑ์การคัดเลือกเคยสัญญาไว้กับใคร