



רשת העצבים של המוח

מתוך הפרק "המוח האנושי"

פחות או יותר, אותו המודל שהוצג ב-1969 בספרי "המכניזם של המוח". סימולציה של מודל זה במחשב הראתה שהוא פועל כמעט כמצופה.

אופן ההתנהגות של כל מודל מסוג זה תלוי מאוד בפרמטרים המשפיעים על התנהגותו, כלומר בכמויות שמועידים לאינטראקציות השונות. לא כללתי את הפרמטרים האלה, ולכן אתאר את התנהגות המודל בעזרת פרמטרים אופטימליים (אלו שעשויים להיות). אני גם מאמין שבמות, כמו בכל מקום אחר בגוף האדם, יש שכבות של מערכות משוב (feedback) השומרות על כך שהפרמטרים יהיו בטווח האופטימלי.

אתאר כאן מודל מפשט של רשת העצבים, שלמרות פשטותו הוא תואם את מה שאנו יודעים על רשתות עצבים במציאות, כמו אלו שקיימות במוח. למען הפשטות לא אשתמש במושגים מתחום הנורולוגיה כדי שהקורא שאינו מצוי בנורולוגיה לא יצטרך ללכת ולחפש אחר הסברים למושגים. מה שחשוב הוא ההתנהגות התפקודית של המערכת.

התנהגות תפקודית זו תכסה מחלקה רחבה של מערכות מסוג זה. הפרטים עשויים להשתנות וניתן להראות שתוצאה מסוימת תקרה בדרך קצת שונה, אבל התוצאה עצמה זהה (כמו שהפרטים של סוגים

שונים של מפסקי-אור חשמליים עשויים להשתנות, אך התוצאה הסופית זהה). המודל שיוצג פה הוא,

¹ הכוונה כאן לטכניקה של הפרובוקציה שבה, למשל, משתמשים במלה אקראית, שאינה קשורה כלל לנושא, ואין שום סיבה הגיונית להשתמש בה, כדי לגרום להולדת רעיונות חדשים. ד.ש.

תופעה זו נמצאת ביסוד התופעה החשובה של אסוציאציה וכן של תופעת השחזור. בשנת 1969 חזיתי שזהו חלק הכרחי של המערכת. מחקר שנעשה לאחר-מכן, על-ידי אחרים, הראה שיש, אכן, שינוי באנזים (calpain) המבטיח שה"קישוריות" בין הניורונים המגורים באותו זמן תהיה גבוהה יותר מאשר עם הניורונים האחרים.

ובחזרה לתמונים: אם משתמשים בדרך זו בשני אורות של מסוקים, ובעתיד משתמשים רק באור אחד, יש סיכוי גדול יותר שהכתם הצהוב יתפשט כלפי הקבוצה המקושרת טוב יותר מאשר כלפי קבוצות האחרות. כך, האירוע הקודם נוצר מחדש כאילו היו גם הפעם שני מקורות אור, והכתם הצהוב אינו מתפשט לעיגול פשוט מסביב לנקודה הממריצה, אלא הוא מתפשט בעקבות המסלול של הקישוריות הגוברת, שהוא כשלעצמו מותנה בניסיון העבר. בדרך זו התמונים יכולים לחזור על או לשחזר דפוס מסוים. גם אם הקלט (input) המופעל (אור-המסוק) אינו זהה, תיווצר גם בפעם הזו אותה צורה של כתם צהוב.

יש לנו עכשיו חזרה של דפוס או שחזור של דפוס - שהוא חלק חשוב מאוד במערכת.

מהו הדבר הבא שקורה? הכתם הצהוב אינו ממשיך להתפשט אלא נעצר (בשל הסרחון). זאת על-סמך ניסיון קודם. עתה, לתמונים הפעילים (כמו לאלה המכורים לטלוויזיה בימינו) יש סבלנות קצרה; הם מתחילים להשתעמם או להתעייף. בד-בבד עם השעמום פוחת הריח. זה אומר, שתמונים אחרים, מחוץ לאותו כתם, המקבלים מספיק זעזועים חשמליים כדי לעורר אותם ונמנעו מכך קודם בשל הסרחון - יכולים עתה להתעורר ולהפוך לפעילים. הקבוצה המקורית היא זו שנרדמת עתה, ואז הכתם הצהוב שלהם נעלם. הכתם הצהוב עובר לקבוצה חדשה של תמונים שזה עתה התעוררו.

קיבלנו, אם כן, תזוזה של הכתם הצהוב מקבוצה אחת אל קבוצה אחרת. הכתם, שתמיד מוגבל בגודלו בשל הסרחון, ימשיך לזוז לאורך החוף. אם קבוצה אחת מקושרת היטב, באמצעות זרועות ארוכות, אל קבוצה רחוקה, הכתם עשוי להיעלם באזור אחד ולהופיע באזור אחר. *הדרך שבה אזור-אחר-אזור הופכים להיות צהובים היא סדרה או דפוס*. לגבי מערכת נתונה של תנאים, זה יהיה דפוס קבוע.

כל תמון יהפוך לפעיל על-פי מספר הזעזועים שהוא מקבל מתמונים שכבר פעילים (במלים אחרות, על-פי מספר הזרועות של קבוצה זו הנחות על גופו) ובדרגת ה"פצע" שתחת זרועות אלה (במלים אחרות, לפי מה שקרה בעבר מבחינת התכיפות של התעוררות התמון, כאשר קבוצה אחרת היתה פעילה). כנגד תופעות מעוררות אלה פועלים גם

תאר לעצמך נזירון כתמון עם הרבה זרועות (לא השמונה הרגילות). חלק מאותן זרועות עשויות להיות ארוכות מאוד. כל אחת מהן נשענת על גופו של תמון אחר ומסוגלת להעביר לו הלם חשמלי. העברה זו נעשית על-ידי העברה של חומרים כימיים היוצאים מקצה של הזרוע (זה מתאים לניורו-טרנסמיטר). אם תמון מקבל מספר מספיק של זעזועים חשמליים הוא מתעורר וממשיך להעביר זעזועים לתמונים אחרים. נסה לדמיין שחוף הים מכוסה במספר גדול של תמונים שכולם קשורים כך זה לזה. כל תמון עשוי, למעשה, להיות מקושר, באמצעות הזרועות הארוכות, לתמון המרוחק ממנו; אך לצורך הנוחיות נניח שהתמון מקושר לשכניו הקרובים.

עתה, אם מעוררים קבוצה של תמונים, לדוגמה באמצעות אור חזק ממסוק הנמצא מעליהם, הם נעשים פעילים ומתחילים לשגר זעזועים לאורך הזרועות שלהם. כדי לראות מה קורה, נניח שבשעה שתמון מסוים פעיל - הוא משנה את צבעו מאפור-ירוק לצהוב-עז. כך שעכשיו אנו רואים כתם צהוב המתפשט כלפי חוץ מתוך הקבוצה שגירינו אותה על-ידי האור החזק. הכתם הצהוב יכול להמשיך ולהתפשט עד שהוא יכסה את כל התמונים שבחוף. זה יהיה משהו השקול להתקפה אפילפטית במוח, כאשר כל המערכות פעילות.

הבה נוסיף עתה עוד תכונה. כאשר תמון ער (ובצבע צהוב-עז) הוא מפריש ריח חריף - מין צירוף של ריח של דג מרקיב וריח של אמוניה. הריח לא נעים לתמונים עד כדי כך שכאשר עצמת הריח מגיעה לדרגה מסוימת - הם מסרבים להתעורר. כך, אם הכתם הצהוב של תמונים פעילים מגיע לגודל מסוים, הריח מגיע לעצמה כזו שאף תמון לא יתעורר יותר, ואז הכתם יישאר בגודל זה.

במונחים ניורולוגיים, יש לנו הפעלה מתפשטת (spreading activation) וכן התפתחות של עכבה (inhibition). עכבה כזו יכולה להתרחש באמצעות הצטברות של חומרים כימיים או באמצעות משוב שלילי ישיר (direct negative feedback) שאותו הפעילה קבוצה אחרת של עצבים. אולם התוצאה זהה.

אם זה כל מה שיש כאן, היה הכתם הצהוב תמיד עגול סביב אותם תמונים שהמסוק האיר עליהם בתחילה. הבה נוסיף לכאן עוד תופעה: אם תמון כבר פעיל כאשר הוא מקבל זעזוע חשמלי באמצעות זרוע, בקטע העור שמתחת לזרוע מתחיל פצע. משמעותו של פצע זה היא - שבעתיד, סביר יותר שהתמון יגיב על זעזוע מתחת לזרוע הזו. זה אומר שאם שתי נקודות אור ממסוק מעוררות שתי קבוצות קרובות של תמונים - בעתיד, הקשר בין שתי קבוצות אלה יהיה חזק יותר מהקשר שיש להן עם התמונים האחרים.

התמנונים שרגישים לגיאו מתעוררים; משמע שהם "מוכנים" יותר להפוך לפעילים מאשר קבוצות אחרות. המוכנות הזאת, בהשראת המוסיקה, היא בנוסף לשאר הגורמים "מוכנות" שכבר נזכרו (קישוריות, דרגת הגירוי הנוכחית, שעמום וכד'). משמע שסביר יותר שהכתם הצהוב של הפעילות יעבור לקבוצה חצי-ערנית זו. אילו הושמעו שירי-עם, למשל, היתה לקבוצת התמנונים הרגישה לסוג זה של מוסיקה עדיפות, ואילו הושמעה מוסיקה של מוצרט - היתה עדיפות לתמנונים אניני הטעם.

מוסיקת הרקע, אם כן, מגבירה את הרגישות של קבוצות שונות. הרגישות המוגברת או המוכנות להפוך לפעילים משמעותה, שהסדרה הדפוסית (הסדרה של הזזת הכתם הצהוב של הפעילות) תהיה שונה כאשר מושמעת מוסיקה מאשר כשאין היא מושמעת. זוהי אכן נקודה חשובה מאוד.

במונחים של המוח אנו מתבוננים בתופעות של "רגשות" או של שינויים כימיים ברקע, אשר מעדיפים שטח מסוים של נוירונים. כלומר, דפוסים נוטים לזרום באזורים כאלה. כך, התגובה לאותו גירוי בדיוק תשתנה בהתאם למצב הרקע הכימי, שכשלעצמו נקבע על-ידי רגשות. השפעה זו של הרגשות היתה יכולה להיות עצבית או כימית - אין זה משנה.

מוקנות כזו של קבוצה מסוימת של תמנונים להפוך ליערים (פעילים) אפשר להשיג גם בדרך שונה. ראינו כיצד הכתם הצהוב השני שנוצר על-ידי מסוק אחר במרחק מה מהכתם הראשון, דוכא זמנית על-ידי דפוס חזק יותר. אבל המוכנות של קבוצה זו להפוך לפעילה עדיין רבה יותר מאשר זו של תמנונים אחרים, ולכן סביר יותר שהכתם הצהוב ינוע לכיוון קבוצה זו. בדרך זו פני השטח יביאו בחשבון קלטים אחרים שהתרחשו באותו הזמן. יש לזכור שאילו שני המסוקים היו מלכתחילה קרובים זה לזה - שני הכתמים הצהובים היו מתאחדים ויוצרים כתם אחד.

אנו יכולים לסכם את הנכונות של כל תמנון מסוים להתעורר ולהפוך לפעיל בדרך הבאה:

- גירוי ישיר.
- גירוי שמקורו בתמנונים אחרים ודרגה של קישוריות (התלויה במאורעות העבר).
- כוונות מוגברת אחרי שלב השעמום.
- מוסיקת רקע.

הגורמים השליליים של שעמום וסרחון הם כפי שהיו קודם-לכן.

מהו זיכרון במודל זה? הפצע, שהוא הבסיס לקישוריות מוגברת, הופך למשהו קבוע. בעולם הנוירונים קישוריות מוגברת זו ניתנת להשגה

גורמים נוספים: הרמה הכללית של הסרחון (המעכבת את התמנון) וכן גורמי העייפות והשעמום.

בנקודה זו ראוי לציין - שהיחס שבין גורמי ההתעוררות והגירוי ובין ההתעוררות בפועל של התמנון אינו יחס ישר (לינארי). זהו מה שנקרא תופעת-סף (threshold effect) כתופעה אופיינית למערכת העצבים. כלומר, עד לנקודה מסוימת, לגירוי מתגבר לא תהיה השפעה בכלל, אבל מעבר לנקודה זו התמנון יזנק לפעילות מלאה. בהמשך הספר אני משתמש באנלוגיה של דגדוג: אתה יכול לדגדג משהו עוד ועוד מבלי שתהיה לכך השפעה עליו, אבל, לפתע, האדם פורץ בצחוק. תופעה לא-לינארית זו היא חלק חשוב של התנהגות רשתות העצבים ואסור להתעלם ממנה כשבאים להעריך את התנהגותן. זה כמו לחץ גובר על ההדק שלפתע נעשה מספיק גדול כדי לשחרר את מלוא עצמתו של הרובה.

מה קורה לקבוצה משועממת של תמנונים שבתחילה היתה מגורה? האם הם נשארים משועממים ויוצאים סופית מהמשחק? לא, אחרי זמן-מה לא רק שהשעמום עובר, אלא אחריו יש אפילו תקופה קצרה של ערנות מוגברת.

העייפות, העקשנות, וההתרגשות המוגברת הם כולם חלק מההתנהגות הרגילה של מערכות העצבים. הערנות המוגברת של הקבוצה שגורתה ראשונה, משמעותה - שהכתם הצהוב המציין פעילות עשוי לחזור אליה, וזאת מאחר שלקבוצה זו יש יתרון קל על-פני הקבוצות האחרות. זה מוליך לתופעת המעגליות של הדפוס. הכתם הצהוב מתחיל מתחת לגירוי הישיר (למשל, האור החזק) בחלק אחד של החוף, ינדוד משם לאורך החוף, ואז יחזור לנקודת ההתחלה, ויחזור על עצמו. המעגליות הזו היא, כנראה, זו שיוצרת את המחשבה במוח.

מה קורה אם שני מסוקים מאירים על חלקים שונים של החוף באותו הזמן? שני כתמים צהובים יתחילו להתפשט. הריח החריף יגדל. הקבוצה החזקה יותר (במובן של קישוריות רבה יותר, ושל גודל) תמשיך להתפשט ואילו הקבוצה החלשה תדוכא על-ידי הריח. כך שבכל זמן נתון יהיה רק אזור אחד של פעילות, כלומר - כתם צהוב אחד. בהקשר של המוח, זה יתאים לאזור אחד בלבד של תשומת-לב בזמן מסוים.

ועכשיו, מסתבר שהתמנונים שמשתרעים על החוף הם יותר מתורבתים ממה שחשבנו. חלקם מגיבים למוסיקה. מתוך אלו שמגיבים למוסיקה מסתבר שיש כאלה שאוהבים גיאו, ואילו אחרים, מסתבר, אוהבים שירי-עם, ויש כאלה שמגיבים רק למוצרט. התגובה של כולם מתבטאת בערנות מוגברת. והנה, רחוק יותר על החוף, נמצאת קבוצה העורכת פיקניק ויש לה מערכת-סטריאופונית חזקה המשדרת במלוא העצמה. כרגע המערכת מנגנת גיאו.

1. תשומת-לב יחידה.
 2. זיהוי דפוסים (pattern recognition) ושחזור דפוסים (reconstruction).
 3. מיזוג של קלטים (inputs) שונים.
 4. יצירת סדרה של דפוסים הלוקחים בחשבון את ניסיון העבר.
 5. יצירת דפוסים מעגליים חוזרים.
 6. תגובות שונות לגירוי - בהתאם לפעילות הרקע (או לפי המצבהכימי ההתחלתי).
- כל אלה הן תופעות רבות-עצמה. הן מסתכמות בהתנהגות של מערכת המארגנת-עצמה, הבונה-דפוסים והמשתמשת בדפוסים, ומסתכמות בהתנהגות של ה"תפיסה" (perception).
- נעבור עתה מהסבר המערכת להתנהגות המערכת, כדי להראות כיצד לתופעות אלה יש שייכות ישירה להבנה שלנו את התפיסה האנושית.

באמצעות שינויי אנזים, באמצעות הוספת חלבונים חדשים, או באמצעות דנדריטים נוספים (בדימוי של התמנון - זרועות).

אנו יכולים למנות את התכונות של מערכת זו:

1. פעילות של כל תמנון יכולה לעורר תמנונים אחרים לפעילות אם הם מקושרים (מבחינים בפעילות באמצעות שינוי בכתם הצהוב).
2. הגודל הכללי של הקבוצה הפעילה מוגבל על-ידי משוב שלילי (הריח החריף).
3. גורם העייפות או גורם השעמום משמעותם - שהפעילות תעבור מהקבוצה המגורה לקבוצה המוכנה הבאה.
4. הגירוי מבוסס על "סף הגירוי" והתגובה איננה ביחס ישר לגודל הגירוי.
5. לכל התמנונים שפעילים באותו זמן תהיה קישוריות מוגברת (תופעת הפצע).

כתוצאה מתכונות פשוטות אלו המערכת מסוגלת להתנהגות הכוללת הבאה:



השתלמויות ופעילויות הכשרת עובדי הוראה הניתנות על-ידי מכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה

מכון ברנקו וייס מפעיל פעילויות להכשרת עובדי הוראה והשתלמויות בנושאי טיפוח החשיבה באופנים שונים, תוך התחשבות והתאמה לצרכי בתי-הספר ומוסדות החינוך השונים.

- חשיבה ביקורתית לשיפור מיומנויות הוראה
- פיתוח וטיפוח סביבה תומכת לחשיבה יצירתית
- חשיבה סטטיסטית
- כלי חשיבה בסיסיים לפתרון בעיות מילוליות במתמטיקה *
- הבנתם שלמורים לגבי מהי למידה אצל ילדים
- הגישה ההוליסטית וכלי חשיבה ללמידה אישית
- מודל החשיבה העגולה לפיתוח הפוטנציאל האישי
- פיתוח מיומנויות חשיבה גבוהות בשילוב עם תוכנית לימודים

2. **ימי עיון** - ימי העיון מיועדים לכלל אוכלוסיית עובדי ההוראה - מפקחים, מנהלי בתי-ספר ומורים. בימי עיון אלה יידונו נושאים שונים מתחום החשיבה הן בדרך של הרצאות והן בדרך של סדנאות התנסותיות-חוויות על-ידי מרצים שונים.

המכון מתאים ימי עיון לגופים הפונים אליו, בהתאם לאופיו, מטרותיו ותחומי העניין של הגוף הפונה; כמובן בתחומי טיפוח החשיבה.

1. **השתלמות מוסדית** - השתלמות זו מתקיימת בנושאים ובהיקפים שונים. היקף השעות גמיש (3-56 שעות) וההשתלמויות מתמקדות סביב נושאים שונים ומגוונים בתחום החשיבה, כפי שניתן לראות ברשימה הבאה:

רשימת הסדנאות:

- חשיבה יצירתית
- יצירתיות בחשיבה
- חשיבה מתמטית
- חשיבה המצאתית שיטתית *
- משאלת שאלות לפתרון בעיות: עיגון במדעים הפיזיקליים *
- חשיבה עתירת בחירה: פיתוח חשיבה באמצעות התמקדות במובן מאליו
- שאילת שאלות *
- האינטואיציה: לדעת מבפנים
- חשיבה אינדוקטיבית ודדוקטיבית *
- המורה כמאמן
- מיומנויות חשיבה לפתרון בעיה *
- כלים בסיסיים לפיתוח החשיבה הצורנית, הספרתית והמילולית *

* קיימת מבנית

ביישום מיומנויות, כלים ואסטרטגיות חשיבה בהוראת מקצועות הלימוד השונים בבת-הספר.

4. קורס הכשרת מורים/מנחים בטיפוח החשיבה - הקורס מיועד למורי הכיתות הגבוהות של ביה"ס היסודי, מורי חטיבת הביניים ונחטיבה העליונה. קורס זה, אף הוא, בנוי משני חלקים - חלק מבוא, כללי ותאורטי יחסית; וחלק יישומי בעיקרו בו לומדים המשתלמים הוראה ולמיידה בפועל של מבניות בטיפוח החשיבה.

מידע מפורט יותר אודות ההשתלמויות, ימי העיון והקורסים השונים ניתן לקבל אצל מיכל רכלבסקי במכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה, טל': 02-436881/2.

בנוסף, הוכנה תוכנית ימי עיון המתרכזת בשני אופני חשיבה עיקריים - החשיבה הביקורתית והחשיבה היצירתית.

תוכנית ימי עיון אלה בנויה משני נדבכים:

- א. לימוד על חשיבה: מבואות על חשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית.
- ב. הכרות חוויתית עם מבניות בטיפוח החשיבה.

ימי העיון יתקיימו בחודשים הקרובים (ניסן תשנ"ה עד חשוון תשנ"ו / אפריל-אוקטובר 1995) אחת לשבועיים במשך שש שעות אקדמיות (19:00-14:00) במכון ברנקו וייס בירושלים. השתתפות מלאה בכל אחד מימי העיון תקנה זכות צבירת 6 שעות מתוך היקף המינימום לצבירת גמול השתלמות בנושא "טיפוח החשיבה" בשנת לימודים נתונה (14 שעות).

3. הכשרה תוך כדי שרות (In-Service Training) - במהלך שנת הלימודים מקיים מכון ברנקו וייס הכשרה תוך כדי שרות בשני מישורים עיקריים. במישור אחד מתקיימים הדרכה וליווי צמוד בהפעלת מבניות טיפוח החשיבה בכיתות הלימוד; במישור האחר מתקיימים הדרכה וליווי



איור מתוך הספר "חדשנות בפעולה" העומד לצאת בקרוב לאור בהוצאת מכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה.

