

## 16 כנרים חושפים מה יוצא דופן ביכולת הסנכרון האנושית

חוקרים מצאו כי בני אדם מסוגלים לפרק ולבנות מחדש את הרשת החברתית שלהם כדי להמשיך לשמור על סנכרון עם הסביבה

17:20 12.08.2020 [אסף רונאל](#)

ארכיטס מטרנטום היה פילוסוף בולט ביוון במאה השלישית לפני הספירה. הוא תרם רבות לביסוס מדע המכניקה, ונחשב למי שבנה את המכונה המעופפת הראשונה. לפי המסורת, ה"יונה" שלו עפה 200 מטרים באוויר עד שנגמרה האנרגיה לתנועת הכנפיים שלה. הוא גם מפורסם בכך שמילא תפקיד מרכזי בניסוח הקשר בין מוזיקה למתמטיקה. בתקופתו, החל להתבסס ביוון גם הניסיון להבין הרמוניות מוזיקליות כמאפיין של הפיזיקה, תפישה שהתפתחה גם במקומות אחרים בעולם העתיק. גם היום, חוקרים משתמשים בגלי קול כדי לחקור תופעות שונות שמופיעות בגלים מהירים בהרבה כמו גלי אור.

מחקר ישראלי שהתפרסם אמש (שלישי) בכתב העת המדעי Nature Communications, מציג גישה חדשה לחלוטין כיצד להשתמש במוזיקה כדי לחקור תופעות שונות: החוקרים, ד"ר מוטי פרידמן מהפקולטה להנדסה באוניברסיטת בר-אילן, פרופסור ניר דודזון ממכון ויצמן, ואלעד שניידרמן, אמן סאונד ודוקטורנט באוניברסיטת סטוני ברוקס בניו יורק, גייסו 16 כנרים וכנרים ובדקו כיצד הם מנגנים יחד - כאשר החוקרים יכולים לשלוט בדיוק במה שומע כל אחד מהנגנים.

הפלטפורמה, שהחלה כפרויקט מדעי-אמנותי, חשפה בפני צוות המחקר כי רשת אנושית מתנהגת בצורה שלא נמדדה מעולם ברשת אחרת – ושניתוח הדינמיקה בין בני אדם מצריך ניסוח של מודל מתמטי חדש. ברמה האמנותית, המחקר מציע דרך חדשה לפתח יצירות מוזיקליות. ברמה המדעית, המחקר מציע כלי לחקור התנהגות של רשתות של בני אדם ברזולוציה ודיוק שלא היו קיימים עד היום. הבנת התנהגות אנושית זו חשובה למגוון רב של תחומים, מהתפשטות מגפות, דרך הפצת פייק ניוז ועד לסנכרון בין מכוניות אוטונומיות שנעות בעזרת בינה מלאכותית.

פרידמן עומד היום בראש מעבדה לחקר אופטיקה בבר אילן. הוא מספר כי המחקר החדש לא קשור לתחום העיסוק העיקרי שלו (אופטיקה לא ליניארית בסיבים). אולם עוד בזמן הדוקטורט שלו במכון ויצמן, הוא עסק בסנכרון בין לייזרים – בשאלה כיצד הלייזרים משפיעים אחד על השני במערכת מורכבת. כדי להבין טוב יותר את התחום, הוא בחן גם סנכרון בין מערכות שונות, כמו נגינה על כוסות יין. "אבל סקרן אותי למצוא שיטה לחקור סנכרון בין בני אדם", הוא מספר.

עד היום, נערכו מחקרים שונים שבחנו כיצד בני אדם מסתנכרנים בעת שהם הולכים על גשר, או מוחאים כפיים. "במצבים האלה, כולם רואים ושומעים את כולם", מוסיף פרידמן, "סוג כזה של 'סנכרון גלובלי' רלוונטי להבנת התנהגות של רשתות אנושיות רק אם חוזרים אחורה עשרת אלפים שנה, לתקופה בה התקשורת בין בני אדם היתה רק פנים אל פנים". היום, לכל אדם יש את מי שהם נמצאים

איתם בקשר. ולכל אחד מאלה יש קבוצה שונה של אנשים עמם הוא עצמו בקשר וכן הלאה מה שיוצר רשת מורכבת של קשרים.

למרות זאת, קבוצות גדולות של בני אדם צריכות ומצליחות להסתנכרן. "האנושות שרדה בזכות הסנכרון בקבוצות גדולות". לדוגמה, חברות גדולות צריכות לסנכרן אלפי בני אדם להשגת אותה מטרה, כשכל אחד עושה משהו אחר ונמצא בקשר עם אחרים. בהקשרים מסוימים, המחקר של סנכרון בין בני אדם הניב תוצאות משמעותיות. פרידמן מזכיר למשל את התיקונים שנדרשו לגשר המילניום בלונדון לאחר שהתגלה שהתנודות המסונכרות של הליכת בני האדם עליו איימו על יציבותו.

אולם הכלים הקיימים היום למחקר, כמו סנכרון של מחיאות כפיים, לא מאפשרים מדידות מספיק מדויקות כמו מתי רשת אנושית מתפרקת כי הסנכרון נשבר, או מתי לא ניתן כלל לסנכרן את המערכת - לא משנה מה הפרטים השונים שמרכיבים אותה יעשו. פרידמן מספר כי בשל הרקע שלו בריקוד, הוא ניסה לחשוב על מבנה ניסוי שיקלול רקדנים. אז, פנו אליו ממוזיאון הננוטכנולוגיה על שם יוסף פטר שבאוניברסיטת בר אילן, וביקשו ממנו להשתתף בפרויקט שמטרתו ליצור עבודות בשיתוף פעולה בין מדענים לאמנים.

"חיברו אותי לאלעד שניידרמן, שהוא אמן סאונד ודוקטורנט לטכנולוגיות מוזיקליות באוניברסיטת סטוני ברוקס בניו יורק", מספר פרידמן. יחד, הם החליטו לבנות מערכת שמודדת בצורה כמותית סנכרון בין מוזיקאים. הניסוי שהם תכננו כלל 16 כנריות וכנרים, שכל אחד מהם מנגן בכינור חשמלי, שמחובר למחשב ללא רמקולים. הנגנים לא רואים זה את זה, והם שומעים אחד את השני רק דרך אוזניות. **האזינו: הנגנים מאטים כאשר יש עיכוב בהגעת הנגינה בין אחד לשני**

"כך, אנחנו יכולים לשלוט בלחיצת כפתור מי שומע את מי, מתי ובאיזו עוצמה", מספר החוקר. "כשחוקרים מחיאות כפיים בקבוצה, לא ניתן למדוד את הסנכרון בצורה נקייה". לכינור יש יתרונות על כלים אחרים כמו קלידים, הוא מוסיף, למרות שהיה קל יותר לערוך את הניסוי עם מקלדות. "אספנו את כל נגני הכינור החשמלי בארץ, וגם כמה שאינם", כדי לערוך את הניסוי. בניגוד לקלידים, הנגינה בכינור היא רציפה, יש הבדל בין תווים זהים אצל נגנים שונים, והכנרים יכולים גם לשלוט במהירות בהם מנגנים כל תו. "וחשוב לא פחות, שנגני כינור כמעט רוקדים. הניגון פיזי מאוד. אפשר גם לראות מתי הסנכרון מצליח. רואים את זה בתנועת הקשת שלהם", אומר פרידמן.

הנגנים התבקשו לנגן משפט מוזיקלי זהה בן תריסר תווים, והמשימה היחידה שהם קיבלו היתה: הסתנכרנו. לא משנה אם תצטרכו להאט או להאיץ את הקצב. המנגינות שנוצרו נותחו בעזרת מחשב שמדד את הדמיון בין הנגינות השונות ואת מידת התיאום ביניהן. הכוונה הראשונית של השניים היתה לייצר הדגמה של סנכרון מערכת וליצור יצירה מוזיקלית עם משמעות מדעיות – עבור המוזיאון. "אבל כשניתחנו את הנתונים, גילינו מדע חדש", מצהיר פרידמן. "מצאנו שבני אדם מסתנכרנים בצורה שונה מכל מה שידוע עד היום על סנכרון בין מערכות, מאלקטרונים, דרך בעלי חיים ועד גלקסיות".

המודל הקיים לתאר סנכרון בין מערכות הוא די פשוט בבסיסו: דמיינו שלוש מטוטלות המחוברות זו לזו בקפיץ. כל מטוטלת מתנדנדת בהתאם למסה ולאורך שלה, ויש משוואה שיכולה לתאר את התנועה שלה בנפרד – אם מתייחסים לכך שחלק מהאנרגיה של התנועה שלה עובר דרך הקפיץ את המטוטלות האחרות. כך התנועה שלהן מסתנכרנת בהדרגה, בתלות בחיבור בין מטוטלת למטוטלת וכמה התנועה שלהן היתה דומה מלכתחילה.

"המודל הזה עובד נפלא כדי לתאר התנהגות של כל המערכות שנבדקו בטבע", אומר פרידמן. המודל שימש גם בניתוח התנהגות של רשתות קשרים בין בני אדם, והיו לו הצלחות מסוימות (למשל בהבנת התקלה בגשר לונדון). אבל כלי המדידה של התנהגות אנושית לא היו מדויקים מספיק כדי לזהות מתי המודל נשבר. "כמו שהמעבר ממכניקה ניוטונית למכניקה של איינשטיין דרש קודם פיתוח כלי מדידה מדויקים מספיק כדי למצוא אי דיוקים במודל הישן". **האזינו: הנגנים מאטים עד שאחרי 35 שניות אחד מוותר והם חוזרים לקצב הרגיל**

הניסוי המוזיקלי אותו יצרו החוקרים אפשר להם לבחון מה קורה כאשר "מתסכלים את המערכת": יוצרים תנאים בהם המערכת לא יכולה להסתגל. לדוגמה, בשלוש המטוטלות המחוברות, אם שתי המטוטלות שבצדדים נעות כל אחת בקצב שונה מאוד, המטוטלת באמצע לא תוכל להסתגל לשתייהן. המודל הקיים, מספר פרידמן, מסביר כי התוצאה היא שהמטוטלת "תבחר" קצב שהוא הממוצע בין הקצב של שתי שכנותיה, "ותישאר מתוסכלת".

כדי לתסכל את הנגנים, הוסיפו החוקרים שהייה בין הזמן שכנר או כנרית ניגנו, לבין הזמן שאחרי שמעו זאת. "ואפשר היה לראות את התסכול בעיניים שלהם", אומר פרידמן. "אבל אז בני האדם עשו משהו לא מוכר ממערכות אחרות: הם התעלמו מחלק משכניהם והתמקדו באחרים".

באופן מעשי, המחקר מראה שבתנאים של תסכול, בני אדם יכולים למחוק חלק מהקישורים ברשת בה הם חברים, ואז לחבר אותם מחדש. "וזה יוצר דינמיקה שונה מהותית מכל מה שנמדד ברשת אחרת", מוסיף החוקר. "בדרך זו, מערכות אנושיות מצליחות למצוא פתרון לתסכולים מהר בהרבה מהמערכות שפועלות לפי המודל הקלאסי. הדינמיות בקישוריות של הרשת מונעת תסכול".

עתה, מספר פרידמן, המחקר פותח שני אפיקים אפשריים. ברמה האמנותית, המערכת שהם בנו מאפשרת ליצור יצירות מוזיקליות בכלי חדש. הן לא מתפתחות בעקבות שינויי תווים, אלא בשליטה בקישוריות של הרשת שמחברת ביניהם. **היצירה שהמחקר הפיק:**

ברמה המדעית, "אני לא יכול להעריך יתר על המידה את הפוטנציאל", הוא אומר. "הדינמיקה של רשתות אנושיות קריטית בחיי היומיום". בין השאר מציין פרידמן את הצורך לתכנן מכונות אוטונומיות שיבחרו כל אחת נתיב משלה בלי להתנגש זו בזו או להבין איך מונעים פייק ניוז. "המחקר מראה שבני אדם יכולים להתעלם ממה שלא מתאים להם ולכן כדי למנוע את ההשפעה של פייק ניוז צריך לעבוד מהר - כי ראינו שרשת אנושית מוצאת פתרון מהר הרבה יותר מרשתות אחרות. כמו כן, להציף במידע אמיתי זה לא מספיק, כי בני אדם יכולים להתעלם ממנו, צריך לעצור את התפשטות המידע השגוי".

בהמשך מתכננים החוקרים לערוך ניסויים לבדוק איך גורמים שונים משפיעים על הרשת האנושית. הם רוצים גם - דרך האינטרנט - לחבר מאות וגם אלפי נגנים וכך לבדוק את מבנה הרשת האנושית והדינמיות שלה בקנה מידה גדול בהרבה. "היינו יכולים להמשיך להשתמש במודל ה'ניוטוני' כל עוד התקשורת בין בני אדם היתה ישירה", מקווה פרידמן שהכלי האמנותי-מדעי שפיתחו הוא ועמיתיו אפשר לנסח במדויק את מודל חדש ומדויק יותר. "רק התחלנו לגלות את הפוטנציאל של הפלטפורמה".