



למצוא את הדרך: מהו הנתיב הקצר ביותר ברשתות?

Teresa Rexin¹ | Mason A. Porter^{1,2*}

¹המחלקה למתמטיקה, אוניברסיטת קליפורניה, לוס אנג'לס, לוס אנג'לס, קליפורניה, ארה"ב

²מכון סנטה פה, סנטה פה, ניו מקסיקו, ארה"ב

סוקרים צעירים

BECKY

גיל: 15



ECOLE
JEANNINE
MANUEL
PARIS

גיל: 11-13



רשת

(Network)

אוסף של פריטים
(אובייקטים, המכונים
'צמתים') והחיבורים ביניהם
(המכונים 'קשתות').

צומת

(Node)

פריטים (אובייקטים) ברשת
המחוברים לפריטים אחרים.
לדוגמה, באיור 1, כל מיקום
וכל צומת רחוב מהווים צומת.

נסיעות ליעדים שונים הן חלק משמעותי בחיינו. אנו מבקרים במגוון מקומות, הן בחיי היומיום שלנו והן כשאנו בחופשה. כיצד באפשרותנו למצוא את הדרך המיטבית לנווט ממקום אחד לאחר? אומנם אנו יכולים לבחון את כל הדרכים השונות המחוברות בין שני המקומות, אך שיטה אחרת היא להשתמש במתמטיקה ובחשבוניות כדי למצוא את המסלול הקצר ביותר ביניהם. במאמר זה, נדון בדרכים לבניית הנתיבים הקצרים ביותר, ונציג את אלגוריתם דייקסטרה (Dijkstra), המשמש לצמצום העלות הכוללת של מסלול מסוים. העלות מורכבת ממרחק הנסיעה, מזמן הנסיעה או מאמת מידה אחרת. נדון גם בדרך שבה ניתן להשתמש במסלולים הקצרים ביותר בעולם האמיתי כדי לחסוך זמן ולייעל את המסע.

מהו מסלול?

מדי יום, אנו מחליטים באלה מסלולים להשתמש כדי לנוע בין מקומות שונים. בבית, אתם עשויים לעבור מחדר השינה אל המטבח. מחוץ לבית, אתם עשויים לעבור בין הבית לבית הספר. נניח שיש לנו רשת של מקומות, המחוברים זה לזה באמצעות רחובות ושבילים. כל אחד מהמקומות הללו מכונה צומת (או קודקוד), והרחובות והשבילים מכונים קשתות (מונח

קשת (Edge)

פריט (אובייקט) המחבר שני צמתים זה לזה. לדוגמה, כאשר אתם נעים מהבית לבית הספר, כל רחוב הוא קשת.

מסלול (Path)

רצף של קשתות מצומת המקור לצומת היעד.

עלות (Cost)

מידת המאמץ הנדרשת כדי לנוע לאורך קשת בתוך רשת. בחיים האמיתיים, עלות עשויה להימדד במרחק, בזמן, או במדד אחר.

מסלול קצר ביותר (Shortest Path)

נתיב שמוביל מצומת המקור אל צומת היעד, שהוא בעל העלות הכוללת הנמוכה ביותר מבין כל הנתיבים מהמקור אל היעד.

איור 1

אתגר בחירת מסלולים. במפת העיר הקטנה הזו, המהווה דוגמה לרשת (network), מקומות (nodes) צמתים (1-4) נמצאים על הצמתים (node) בין הרחובות (שהם הגבולות המחברים - edge). כל אחד מהמקומות הללו (הבתים - Home, והאדום, הברכה הקטנה - Pond, בית הספר - School, וחנות המכולת - Grocery store), גם הם צמתים.

פעילות 1: התוו מסלול מהבית הכחול אל בית הספר על המפה. באילו רחובות (כלומר, קשתות) באיור תבחרו? באיזה מסלול אתם בוחרים כדי להגיע מהבית אל בית הספר בחיים האמיתיים? (ההשראה לאיור זה נלקחה מהתמונה בקישור

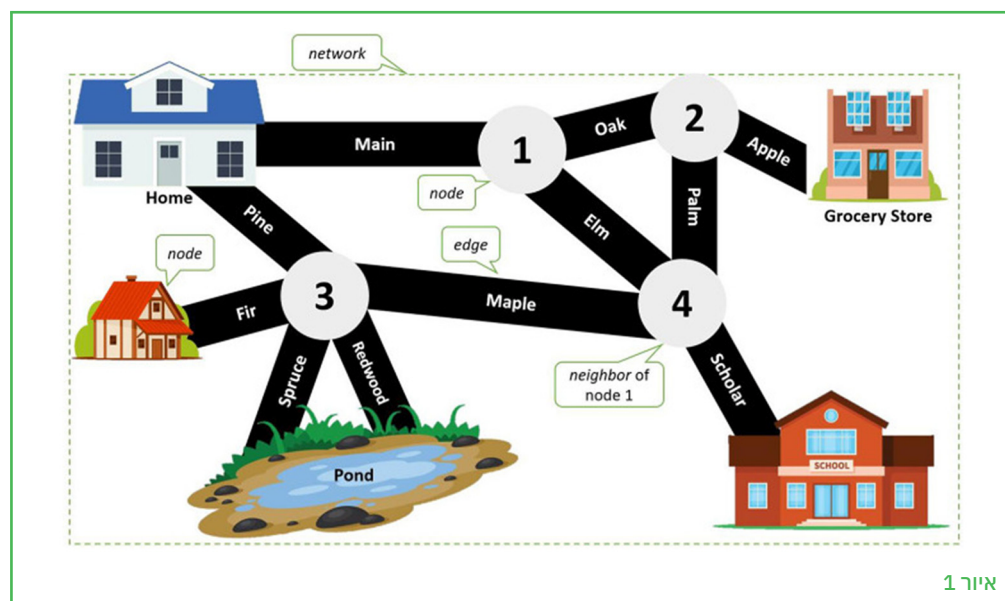
<http://clipart-library.com/clipart/449476.htm>

באיור נעשה שימוש גם באוסף תמונות ציבורי. מקרא: edge = קשת; neighbor of node 1 = בשכנות לצומת 1; הרחובות, המסומנים בשחור, נושאים שמות של עצים שונים.

בתורת הגרפים). ה'שכנים' של צומת מסוים הם הצמתים המחוברים אליו באמצעות קשת. **מסלול** הוא רצף של קשתות בין צומת המקור לצומת היעד [1, 2].

המסלולים הקצרים ביותר

במתמטיקה, חוקרים בוחנים את אורכי המסלולים כדי לבנות מסלולים קצרים. לעיתים קרובות ישנה תועלת במציאת המסלול הקצר ביותר. זהו מסלול בין שני צמתים, שבו מספר הקשתות הוא המועט ביותר, אם **העלות** של תנועה לאורך כל קשת זהה (לדוגמה, אם כל קשת הוא רחוב באותו האורך). באופן כללי יותר, בהינתן צומת מקור וצומת יעד, **מסלול קצר ביותר** ביניהם הוא זה אשר לו העלות הכוללת הנמוכה ביותר מבין כל המסלולים האפשריים מהמקור אל היעד [1]. כדי לחשב את עלות המסלול, עלינו לסכם את העלויות הפרטניות של כל אחת מהקשתות שבו. ניתן למדוד עלות במרחק, בזמן או במדד אחר. לדוגמה, במפת העיר הקטנה שבאיור 1, מסלול קצר ביותר מהבית אל בית הספר עשוי להיות זה שהתנועה בו אורכת הכי מעט זמן מבין המסלולים האפשריים. בין שני צמתים ברשת נתונה עשוי להיות יותר ממסלול אחד שהוא הקצר ביותר, כיוון שלכמה מסלולים עשויה להיות אותה עלות מינימלית. לכן אנו מתייחסים אליו בתור 'אחד המסלולים הקצרים ביותר' בין שני צמתים (למרות שזה נשמע מוזר), ולא בתור 'המסלול הקצר ביותר' ביניהם.



איור 1

אתם כבר ודאי חושבים על מסלולים קצרים ביותר בחיי היומיום, שמובילים אתכם למקומות שונים. בדוגמת חדר השינה-מטבח שהבאנו קודם, לא הגיוני ללכת מחדר השינה לחדר הכביסה, לאחר מכן לצאת החוצה לחצר האחורית, ולהגיע לבסוף למטבח, אם אתם רוצים בסך הכול לעבור מחדר השינה למטבח. יהיה הרבה יותר מהיר ללכת ישירות מחדר השינה למטבח, בלי לעצור בדרך בחדר הכביסה ובחצר האחורית. במסע בין מקומות הקרובים זה לזה, יש רק כמה צמתי רחובות (כלומר, צמתים), ואולי תצליחו לבדוק את רוב המסלולים השונים כדי לאתר מסלול קצר ביותר. אך אם המקומות הללו רחוקים יותר – לדוגמה, ביתכם, בית הספר שלכם וחנות צעצועים בעיר אחרת – יהיה הרבה יותר קשה למצוא מסלול קצר ביותר. כיצד אמצעי ניווט כמו 'גוגל מפות' קובעים את הדרך המיטבית להגיע

¹ויקיפדיה. 2020. בעיית המסלול הקצר ביותר. זמין ברשת בכתובת: https://en.wikipedia.org/wiki/Shortest_path_problem (נפתח לגישה ב-20 באוגוסט, 2020).

²בהגייה של השם, Dijkstra, ה-J היא שקטה.

³Code.org. 2020. מדריך פעילות U2L07 – אלגוריתם מסלול קצר ביותר של דייקסטרה. זמין ברשת בכתובת: https://docs.google.com/document/d/15N7aHAoWG1_9V1cDHNZRYgzFK0hle-EHlmHu0PZI8D4/view (נפתח לגישה ב-20 באוגוסט, 2020).

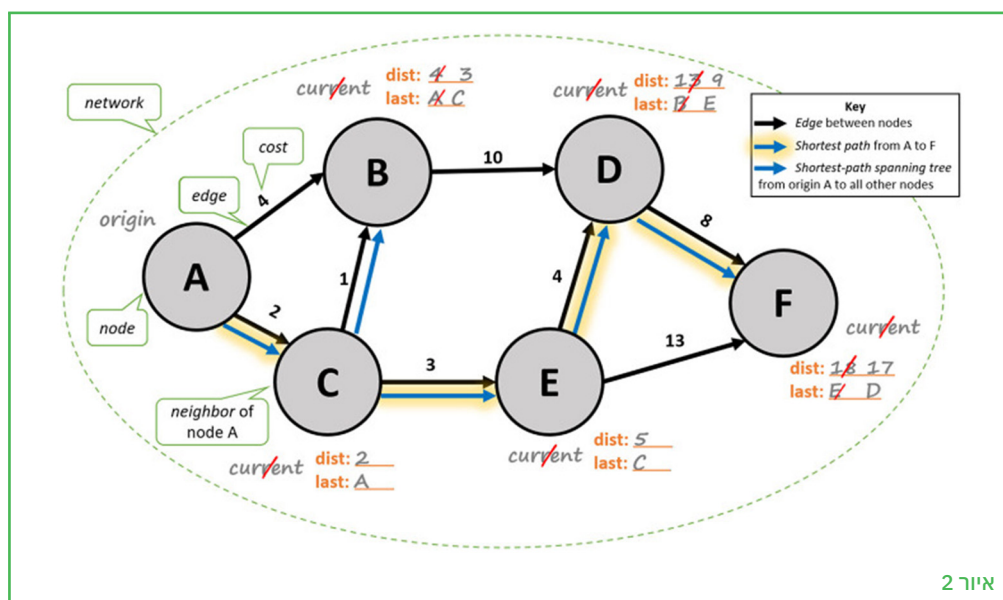
איור 2

בחירה בנתיבים הקצרים ביותר. ברשת (network) הזו, החיצים הכחולים המודגשים מראים לנו מהו המסלול הקצר ביותר מצומת A לצומת F. המספרים מצביעים על עלויות (cost) הקשתות (שאינם מצויים לפי קנה המידה). החיצים הכחולים מציגים את פרישת עץ הנתיבים הקצרים ביותר, כאשר A הוא צומת המקור (origin). שימו לב לכך שהמסלול מצומת A לצומת F מהווה חלק מפרישת עץ הנתיבים הקצרים ביותר. התווית 'dist' מתייחסת למרחק הכולל מצומת המקור אל צומת מסוים, והתווית 'last' מתייחסת לצומת האחרון שבו עברנו כדי להגיע לצומת יעד מסוים מהמקור A. בפסקה הבאה במאמר, שכתרתה 'אלגוריתם דייקסטרה', אנו מספקים הסבר מפורט לגבי הצעדים הנדרשים לקביעת מסלול קצר ביותר [ההשראה לאיור זה נלקחה מאיורים המצויים ברשת]^{1,3}.

⁴ויקיפדיה. 2020. Edsger W. Dijkstra. זמין ברשת בכתובת: https://en.wikipedia.org/wiki/Edsger_W._Dijkstra (נפתח לגישה ב-20 באוגוסט, 2020).

ליעד מסוים? אחת האפשרויות היא לפתור את בעיית המסלול הקצר ביותר. זוהי בעיה מתמטית העוסקת במציאת המסלול בין שני צמתים בצורה שמצמצמת את סכום העלויות של הקשתות במסלול¹.

במתמטיקה, לעיתים קרובות אנו מסמנים צמתים כמספרים (ראו הצמתים באיור 1), או כאותיות (ראו איור 2). כדי לפשט את הדברים, אנו גם מניחים שהכול דו-ממדי (כמו תרשים על פיסת נייר), כך שנוכל למדוד מרחק בדרך שבה אנו מודדים אותו בין שתי נקודות על רצפת הבית. איננו מביאים בחשבון משתנים כמו גובה, או קימור כדור הארץ. ברשת שבאיור 2, אם אנו רוצים למצוא את אחד המסלולים הקצרים ביותר מצומת A לצומת F, עלינו לבחור בקשתות בעלות העלויות הנמוכות ביותר. לדוגמה, במקום לבחור בקשת בעלות 4 מצומת A לצומת B, נבחר בקשת שעלותה 2 מצומת A לצומת C. בחירת הקשתות בעלות העלויות הנמוכות ביותר כדי למצוא מסלול קצר ביותר, היא אחד מרעיונות המפתח באלגוריתם דייקסטרה^{2,3}.

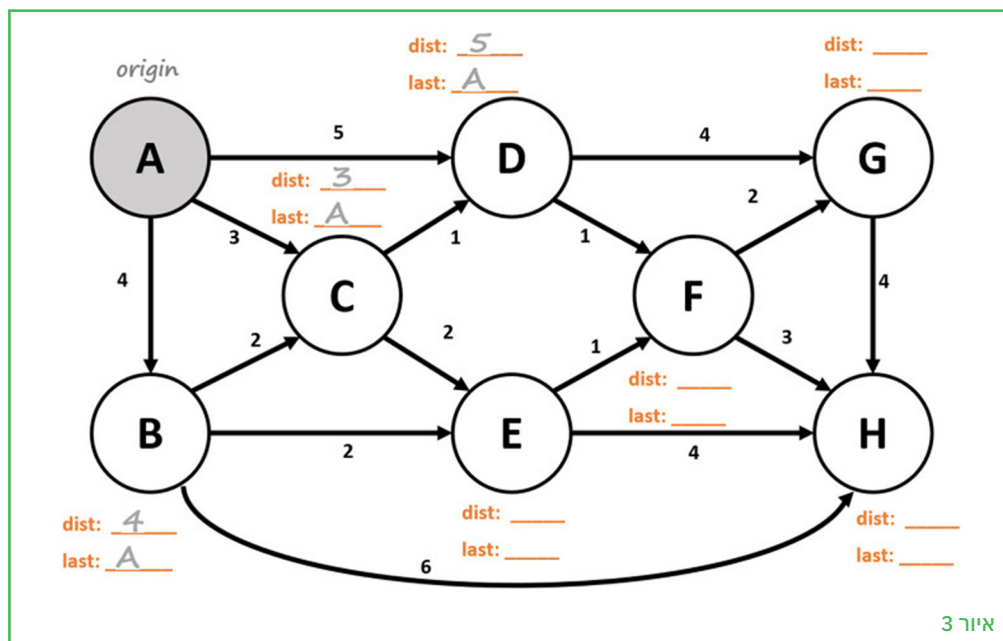


אלגוריתם דייקסטרה

'אלגוריתם' הוא מערך מדויק של צעדים שצריך לבצע כדי לפתור בעיה, כמו בעיית המסלול הקצר ביותר¹. אלגוריתם דייקסטרה הוא אלגוריתם מפורסם למציאת אחד המסלולים הקצרים ביותר. הוא נקרא על שמו של ממציאו, אֶדְסְגֶר דֵ'יִיקְסְטֶרָה, שהיה מדען מחשבים הולנדי מוכר⁴. אחד השימושים של אלגוריתם דייקסטרה הוא יצירה של פרישת עץ הנתיבים הקצרים ביותר (ראו איור 3). מטרת הפרישה היא למצוא מסלול קצר ביותר בין צומת מקור לכל צומת אחר ברשת, זאת על ידי חישוב בנפרד של המרחק מצומת המקור אל כל אחד מהצמתים האחרים. בדיון שלנו, העלות נמדדת במרחק, אך ניתן להשתמש באלגוריתם דייקסטרה עבור כל סוג של עלות.

מקרא: edge = קשת; node = צומת;
 = neighbor of node A
 = current; A לצומת
 הצומת הנוכחי. בתבנית
 המלבנית מצד ימין, לפי סדר
 החיצים מלמעלה למטה:
 קשת בין צמתים; הנתבי
 הקצר ביותר בין A ל-F;
 פרישת עץ נתיבים קצר ביותר
 מהמקור ב-A לכל הצמתים
 האחרים.

איור 3



איור 3

עכשיו תורכם! פעילות 2:
 השתמשו באלגוריתם
 דייקסטרה כדי למצוא פרישת
 עץ נתיבים קצרים ביותר
 מהמקור אל כל צומת אחר
 ברשת הזו.⁵
 השלמנו עבורכם את השלב
 הראשון של אלגוריתם
 דייקסטרה [ההשראה לאיור
 זה נלקחה מפעילות המצויה
 ברשת¹].

⁵ניתן להוריד גרסה להדפסה
 של איור 3 – איור 3 בכתובת
https://drive.google.com/file/d/1rNONK-cmy4gq_aCJRnAYpe9Y2HSeq2A1/view

פרישת עץ נתיבים קצרים ביותר (Shortest-path Spanning Tree)

חלק מרשת מחוברת
 שמתחיל מצומת מקור מסוים
 ומפרט מסלול קצר ביותר
 מצומת זה לכל צומת אחר
 ברשת. לדוגמה, אם ברשת 6
 צמתים, ישנם 5 מסלולים
 קצרים ביותר כאלה בעץ
 פרישת מסלולים קצרים
 ביותר. עץ כזה של רשת כולל
 את כל הצמתים שברשת.
 נוסף על כך, כיוון שעץ כזה
 הוא סוג רשת הידועה כ'עץ',
 לכל זוג צמתים ברשת ישנו
 בדיוק נתיב אחד המחבר
 ביניהם.

באיור 2, אנו מראים כיצד להשתמש באלגוריתם דייקסטרה כדי לבנות פרישת עץ נתיבים קצרים ביותר עבור רשת מחוברת. עקבו אחר איור 2 בעוד אתם קוראים את ההסבר, וצפו בסרטון 1 המציג הנפשה של דוגמה זו.

הסבר לאיור 2: עקבו אחר ההסבר המופיע בסרטון, לדוגמה של שימוש באלגוריתם דייקסטרה למציאת פרישת עץ הנתיבים הקצרים ביותר עבור הרשת באיור 2.

הנה הצעדים שאנו מבצעים:

1. 'נמלא' (בִּצְבֵּעַ) את צומת ה'מקור' (ראו צומת A באיור 2). עבור כל נֶשֶׁן של צומת ה'מקור', נקבע את הֶעֱרָךְ ההתחלתי של dist (מרחק) בתור המרחק מצומת ה'מקור' אל אותו נֶשֶׁן, ואת הערך ההתחלתי של last (אחרון) כצומת ה'מקור'. בדוגמה שבאיור 2, בסוף הצעד הזה, נמלא את הערכים ל-dist ול-last, עבור הצמתים B ו-C. רשומות ה-dist וה-last עבור צמתים D, E ו-F עדיין ריקות.

2. נזהה את הצומת ה'ריקי' (מִצְבֵּעַ) בעל ערך ה-dist הנמוך ביותר (לא נכלול את אלו שאין להם ערך), ונתייג אותו כצומת ה'נוכחי' שלנו. לדוגמה, אם אנו מתחילים עם צומת A כצומת ה'מקור', הצומת ה'נוכחי' הוא צומת C, כיוון שערך ה-dist בין A ל-C נמוך מערך ה-dist בין A ל-B. אם ערכי המרחק שווים, נבחר באחד מבין הצמתים בעלי ערך ה-dist הנמוך ביותר.

3. נבצע את השלבים הבאים עבור כל אחד מהשכנים ה'ריקים' של הצומת ה'נוכחי':

a. נוסיף את ערך ה-dist של הצומת ה'נוכחי' לעלות הקשת מהצומת ה'נוכחי' לשכן.

b. אם ערך ה-dist משלב 3 א קטן מערך ה-dist של השכן (או אם ערך ה-dist של השכן עדיין חסר), נעדכן את ערך ה-dist של השכן לערך ה-dist שחישבנו בשלב 3א, ונקבע את ערך של השכן כצומת ה'נוכחי'.

4. לאחר שנשלים את שלב 3 עבור כל השכנים ה'ריקים' של הצומת ה'נוכחי', 'נמלא' (בצבע) את הצומת ה'נוכחי' ונמחק את תיג ה'נוכחי'.

5. אם כל הצמתים 'מלאים', אנו ממשיכים לשלב אחרת, אנו חוזרים לשלב 2.

6. נדגיש את הקשת בין כל צומת לצומת שלו, כדי לחשוף פרישת עץ נתיבים קצרים ביותר מה'מקור'.

יישומים

בעזרת אלגוריתם דייקסטרה, באפשרותנו למצוא מסלול קצר ביותר מצומת המקור אל כל צומת אחר ברשת. אם תחשבו על ביתכם כצומת המקור, ועל היעד שלכם ככמה צמתים אפשריים ברשת, תוכלו למצוא נתיב טוב מהבית אל כל מקום שאליו תרצו להגיע. נניח שתמצאו לבקר בכמה מקומות לפני שאתם חוזרים הביתה. כיצד תמצאו את הדרך המיטבית לבקר בכל היעדים הללו תוך חיסכון בזמן וצמצום הוצאות כמו דלק ומלונות? באופן מופשט יותר, כיצד ביכולתנו למצוא מסלול קצר ביותר שעובר בכל הצמתים ברשת וחוזר אל הצומת ההתחלתי? בעיה זו, שהיא הרחבה של בעיית המסלול הקצר ביותר, ידועה כ'בעיית איש המכירות הנודד' ⁶.

⁶ראו <https://www.youtube.com/watch?v=q8nQTNvCrjE&t=35s>

מציאת מסלולים קצרים ביותר חשובה לפתרון בעיות במגוון סוגי רשתות. לדוגמה, מסלולים קצרים ביותר עשויים לשפר את יעילות התכנון של עיר. מהנדסים אזרחיים יכולים ליצור ייצוג של עיר כרשת, ולקבוע מָהֵם המקומות המיטביים לבניית דרכים שיפחיתו את עומס התנועה, ומהם המקומות המיטביים לצינורות שתייה שיספקו מים לתושבים [2]. מציאת מסלולים קצרים ביותר גם מאפשרת להעביר נתונים ממחשב אחד לאחר במהירות גבוהה, מה שמאפשר זרימת כמויות מידע עצומות בתוך שניות [1, 2].

ישנן גם דוגמאות רבות של מסלולים קצרים בתקשורת וברשתות חברתיות. לדוגמה, נניח שכל אדם ברשת חברתית הוא צומת, ושכל קשת מייצגת חברות. תוכלו להבין איך ליצור קשר עם אדם שנמצא מחוץ לקבוצות החברים שלכם, דרך קשריהם של חברים. המסלולים הקצרים ביותר של קשרים (כמו חברויות), בין שני אנשים אקראיים בארה"ב עשויים להיות קצרים יותר משאתם מְשַׁעְרִים. בממוצע, במסלול כזה יש פחות משישה שלבים בין אדם ה'מקור' לאדם ה'יעד' [3]! מסלולים קצרים בין אנשים ממחישים את 'תופעת העולם הקטן', ואורכי המסלולים הקצרים הללו הם גם אלה שהיוו השראה למונח 'שש דרגות של הפרדה' (רעיון במדעי החברה שלפיו כל שני אנשים בעולם מקושרים על ידי חמישה אנשים אחרים, לכל היותר) [1].

דוגמה נוספת מתייחסת לאירועים עכשוויים. במהלך מגפת נגיף הקורונה (קוֹבִיד-19), מציאת מסלולים קצרים הייתה יעילה להגבלת החשיפה לנגיף שגורם למחלה. בתקופה זו

הרווחנו מחישוב מסלול קצר בשעה שערכנו קניות במרכז ואספנו מוצרים. זאת תוך שאנו נמנעים ממגע עם אנשים אחרים על ידי שמירת מרחק פיזי [4, 5].

סיכום

למציאת מסלולים קצרים ביותר נודעת חשיבות כדי להגיע ממקום אחד למקום אחר. למסלולים אלה יישומים רבים במגוון סוגי רשתות, וביכולתם לסייע לפתור מגוון בעיות בעולם האמיתי. מתכנון חופשה משפחתית ועד לגילוי הקשרים בעולמנו, מחקר מסלולים קצרים ביותר ברשתות הוא בעל חשיבות מכרעת, ומהווה בסיס למחקרים מורכבים יותר.

תודות

אנו מודים לקוראים הצעירים שלנו – Nia Chiou, Taryn Chiou, Zoë Chiou, Tycho Elling – ו-Sage Hansen – עבור הערותיהם המועילות הרבות. אנו מודים גם לבני משפחותיהם – Tim Elling, Christina Chow, Lyndie Chiou, Sterling Hansen – על כך שחיברו בינינו, ועזרו לנו לקבל מהם משוב. נוסף על כך ברצוננו להודות ל-Lyndie Chiou, Michelle Lee, Thomas Rexin ו-Akrati Saxena עבור הערותיהם המועילות, וכן לסוקרים הצעירים שלנו ולמנחים שלהם עבור הצעותיהם המצוינות הרבות. MAP מודה על התמיכה מטעם הקרן הלאומית למדע (NSF, ארה"ב) – מענק מספר 1922952, באמצעות תוכנית האלגוריתמים לזיהוי איזמים (ATD).

מקורות

1. Newman, M. E. J. 2018. *Networks*, 2nd Edn. Oxford, UK: Oxford University Press.
2. Cramer, C., Porter, M. A., Sayama, H., Sheetz, L., and Uzzo, S. (eds). 2015. *Network Literacy: Essential Concepts and Core Ideas*. Available online at: <http://tinyurl.com/networkliteracy>
3. Milgram, S. 1967. The small-world problem. *Psychol Today* 1:61–7. doi: 10.1037/e400002009-005
4. Brooks, H. Z., Kanjanasaratool, U., Kureh, Y. H., and Porter, M. A. 2021. Disease detectives: Using mathematics to forecast the spread of infectious diseases. *Front. Young Minds* 9:577741. doi: 10.3389/frym.2020.577741
5. Ying, F., and O'Clery, N. 2021. Modelling COVID-19 transmission in supermarkets using an agent-based model. *PLoS ONE* 16:e0249821. doi: 10.1371/journal.pone.0249821

פורסם אונליין: 23 באפריל 2025

נערך על ידי: Marco Aldi

מנחים מדעיים: Julia Kempe | Amanda Wilkens

ציטוט: Rexin T I Porter MA (2025) למצוא את הדרך: מהו הנהיג הקצר ביותר ברשתות? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.631045-he

תורגם והותאם מ: Rexin T and Porter MA (2021) Finding Your Way: Shortest Paths on Networks. Front. Young Minds 9:631045. doi: 10.3389/frym.2021.631045

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כל המחקר נערך בהעדר כי קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2021 Rexin I Porter 2025. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

BECKY, גיל: 15

אני Becky, תלמידת כיתה ט'. מתעניינת במדעי המחשב ובספרות בדייונית. מבלה את רוב זמני בשיחות עם חברים, משחקים ובילוי עם החתלתולים שלי. העובדה שאני גדלה בזמנים משתנים אפשרה לי ללמוד הרבה יותר דרך האינטרנט, בהשוואה למה שהוריי יכלו ללמוד מתוך ספרים. דרך האינטרנט, אמא שלי הכירה לי את פרונטיר – מדע לצעירים. אני מקווה שבאמצעות מאמר זה עזרתי ליצור את המסלול המהיר ביותר.

ECOLE JEANNINE MANUEL PARIS, גיל: 11-13

אנו קבוצה של תלמידים מפריז, צרפת. משתוקקים ללמוד עוד מהמדענים ומהמאמרים המלהיבים שאליהם אנו נחשפים במסגרת הפרויקט הזה!

הכותבים

TERESA REXIN

Teresa Rexin גדלה במחוז סקרמנטו שבקליפורניה, ארה"ב. לאחרונה סיימה את לימודי התואר הראשון שלה באוניברסיטת קליפורניה בלוס אנג'לס (UCLA) בסטיסטיקה ובמתמטיקה יישומית, והחלה את לימודי התואר השני שלה בסטיסטיקה באוניברסיטת קליפורניה בסן דייגו (UCSD). היא מתעניינת ביישום מתמטיקה במטרה לפתור בעיות מאתגרות בחיי היומיום, ולסייע לשפר את איכות חייהם של אנשים. בזמנה הפנוי נהנית להתנדב בקהילתה, להתאמן במכון הכושר ולבלות עם משפחתה וחבריה. למרות שזה לא היה מסלול קצר ביותר חזרה למעונות שלה מהקמפוס של UCLA, Teresa מתגעגעת להליכות במוך דרך ברין (Bruin Walk) באוניברסיטה, ולצפייה בשקיעה לאחר שבוע ארוך של לימודים.

MASON A. PORTER

Mason A. Porter הוא פרופסור במחלקה למתמטיקה באוניברסיטת קליפורניה בלוס אנג'לס (UCLA). נולד בלוס אנג'לס שבקליפורניה, ארה"ב, ונרגש להיות איש אקדמיה ומרצה בעיר הולדתו. הוא חוקר רשתות ונושאים אחרים הקשורים למתמטיקה וליישומיה. נוסף על כך Mason הוא אוהד נלהב של



משחקים מכל הסוגים; פנטזיה; בייסבול – קדימה, דודג'רס! (קבוצה מלוס אנג'לס, קליפורניה); שנות השמונים של המאה הקודמת, ודברים נפלאים אחרים. בעבר הוא היה פרופסור באוניברסיטת אוקספורד, ולבש שם גלימות באירועים רשמיים (בדומה לגלימות בסדרת 'הארי פוטר'). המסלולים הקצרים ביותר והשכיחים ביותר עבור Mason מצויים בין הדירה שלו למקומות שאפשר להשיג בהם קפה טוב.

*mason@math.ucla.edu

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל

Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK



קרן משפחת

שעשוע Shashua

Family Foundation

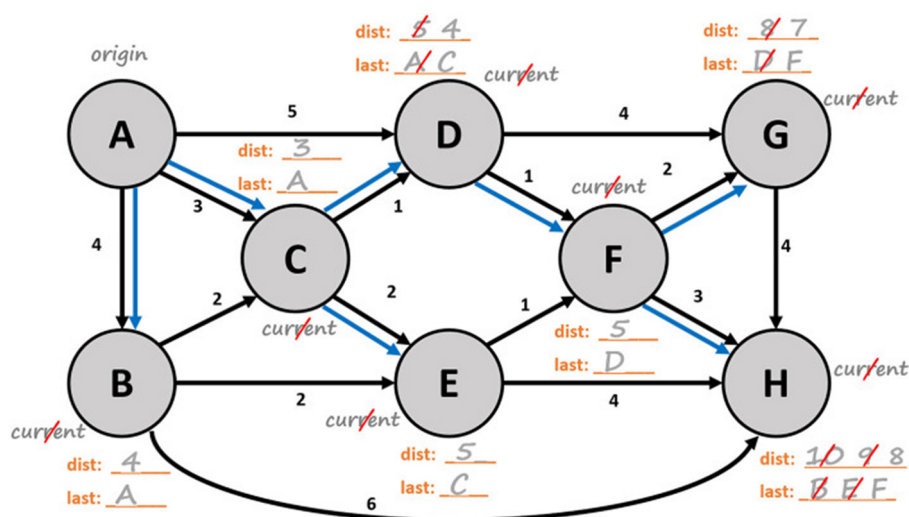
נספח

מפתח תשובות

פעילות 1: מסלול אפשרי אחד הוא (Main - ראשי, Elm - בוקיץ, Scholar - תלמיד).
 מסלול אפשרי נוסף הוא (Main - ראשי, Oak - אלון, Palm - דקל, Scholar - תלמיד).
 מסלול אפשרי שלישי הוא (Pine - אורן, Maple - אָדָר, Scholar - תלמיד).

פעילות 2: הנה דוגמה אחת לפרישת עץ נתיבים קצרים ביותר שלמה עבור הרשת באיור 3.
 עקבו אחר ההסבר בסרטון 2.

לחצו כאן לצפייה בסרטון 2.



הסבר לפעילות 2: עקבו אחר ההסבר המופיע בסרטון למציאת פרישת עץ נתיבים קצרים ביותר עבור הרשת באיור 3. תוכלו להוריד גרסה להדפסה של איור 3 (הנקראת 'Activity 2 Worksheet' מכאן: https://drive.google.com/file/d/1rNONK-cmy4gq_d/view?usp=sharing).