

## **המחלקה להנדסת תוכנה**

### **פרויקט גמר – תשע"ז**

**הדמיית ניתוב מידע של בקרת רמזורים על ידי  
סוכנים חכמים**

**Simulation of message routing by  
intelligent agents for the use of traffic  
control**

**מאת**

**רפאל מזוז**

מנחה אקדמי :	ד"ר גיא קלמן	אישור:	תאריך: 21/06/17
אחראי תעשייתי :	מר בן דב	אישור:	תאריך: 21/06/17
רכז הפרויקטים :	ד"ר ראובן יגל	אישור:	תאריך: 21/06/17

## תקציר

במסגרת הלימודים בעזריאלי-המכללה האקדמית להנדסה ירושלים אני מבצע פרויקט גמר בשיתוף עם חברת ש.מ.ר אנרגיה. אני צריך ליצור אלגוריתם שיאפשר ניתוב נתונים ברשת מבוזרת. כל צומת הוא רכיב ממוחשב עם אפשרות לשדר ולקבל חבילות באופן אלחוטי. הקושי הוא ליצור רשת מבוזרת כאשר כל רכיב יכול לתקשר רק עם השכנים שלו. פתרון הניתוב שאני מיישם הוא בניית תתי-גרף המקושרים ביניהם על ידי צמתים הנקראים "צומתי שלד" שיעזרו בניתוב של החבילות. (Backbones) הפרויקט מסתיים בהדגמה של האלגוריתם על ידי סימולציה של התמודדות עם אירועים המגיעים מ"זמן אירועים" שמזין אירועים למערכת התקשורת. על מנת לעשות מדידות והשוואות עם רשתות אחרות יש אפשרות להריץ את הסימולציה על כל הצמתים של רשת מסוימת. המצב הזה נקרא מצב "סטט" והוא מאפשר לבדוק את היכולת של המערכת לשליחת חבילות מכל צומת לכל צומת. הפלט של הסימולציה יעזור לשפר את היכולת של האלגוריתם עם סטטיסטיקות ונתונים על מידע הרשת.

## הצהרה

העבודה נעשתה בהנחיית ד"ר גיא קלמן במחלקה להנדסת תוכנה, עזריאלי – המכללה  
האקדמית להנדסה ירושלים .  
החיבור מציג את עבודתי האישית ומהווה חלק מהדרישות לקבלת תואר ראשון בהנדסה.

## תודות

ברצוני להביע רוב תודות לאנשים הרבים בהם נעזרתי בפרויקט.  
תודה למשפחתי היקרה שעזרו ותמכו בי לאורך כל המהלך הפרויקט .  
אני מודה מקרב לב למנחה ד"ר גיא קלמן על העזרה המקצועית במהלך הפרויקט ויחסו האישי  
לאורך כל הדרך.  
כמובן, תודה רבה לכל חברי לספסל הלימודים אשר תרמו את עזרתם ואת השכלתם במהלך  
הפרויקט

## תוכן העניינים

2	תקציר
3	הצהרה
4	תודות
5	תוכן העניינים
6	מילון מונחים
8	1. מבוא
9	2. תיאור הבעיה
10	3. תיאור הפתרון
10	תיאור הפתרון המוצע
15	תיאור הכלים המשמשים לפתרון
16	4. תיאור מערכת ממומשת
23	5. תכנית בדיקות
25	6. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה
26	7. סיכום ומסקנות
31	8. נספחים
31	א. רשימת ספרות
33	ב. מערכות ניהול פרויקט
34	ג. תרשימים וטבלאות
36	ד. תכנון הפרויקט
37	ה. טבלת סיכונים
38	ו. טבלת דרישות

## מילון מונחים

רשת אד הוק ad Hoc network

חיבור של שניים או יותר של מחשבים בלי נתב מרכזי שאחראי על החיבור

מערכת מבוזרת Distributed System

מערכת תוכנה הנמצאת על גבי ריבוי מכונות כאשר כל חלק הוא חשוב על קיום של המערכת

סוכן חכם Smart Agent

הוא חלק של המערכת שלא צריך תמיכה מחלקים אחרים כדי להתקיים.  
הכוונה בפרויקט הזה שהסוכן לא צריך סוכן ראשי כדי להתקיים ולתקשר עם סוכנים אחרים.

רספברי פיי Raspberry Pi

הראספברי פיי (באנגלית: Raspberry Pi) היא סדרת מחשבי-לוח-יחיד בגודל כרטיס אשראי שפותחו בקרן ראספברי פיי בבריטניה מתוך רצון לקדם את לימוד מדעי המחשב ונושאים קשורים אליהם בקרב תלמידים. אנחנו נשתמש במכשיר הזה כדי להרכיב רשת ad Hoc בבין כל קבוצה של מחשבים. כל מכשיר יהיה צומת של הרשת.

קורום: Quorum-Based Location Service

שיטה של ניתוב מידע ברשת מבוזרת, היא עובדת לפי בנייה של תתי-גרף. לכל תת-גרף קיימים "צמתים חשובים. backbone" בהמשך נסביר איך השיטה עובדת.

גרף Graph

בתורת הגרפים, גרף הוא ייצוג מופשט של קבוצה של אובייקטים, כאשר כל תת-קבוצה של אובייקטים בקבוצה עשויים להיות מקושרים זה לזה.  
האובייקטים הניתנים לקישור מכונים קודקודים או צמתים (באנגלית vertex) וקבוצת הקודקודים מסומנת באות  $V$ .  
הקישורים בין הקודקודים מכונים צלעות או קשתות (באנגלית edge) וקבוצת הצלעות מסומנת באות  $E$  קבוצת הצלעות מקיימת,  $E \subseteq V \times V$ : כל צלע היא זוג הקודקודים, אותם היא מקשרת.  
גרף, אשר קבוצת הקודקודים שלו היא  $V$  וקבוצת הצלעות שלו היא  $E$  מסומן באופן הבא  
 $G = (V, E)$

### חישוב פיתגורס

משפט פיתגורס הוא משפט מפורסם בגאומטריה, המתאר את היחס בין שלוש צלעותיו של משולש ישר-זווית. המשפט קובע כי "סכום שטחי הריבועים, הבנויים על הניצבים במשולש ישר זווית, שווה לשטח הריבוע הבנוי על היתר" בניסוח פורמלי: אם אורכי הניצבים במשולש ישר-זווית הם  $a$  ו  $b$ -ואורך היתר הוא  $c$ , אז  $a^2 + b^2 = c^2$  :

### מרחק במרחב האוקלידי

במרחב האוקלידי מגדירים את המרחק במערכת הקואורדינטות הקרטזיות באמצעות משפט פיתגורס:  
בהינתן שתי נקודות  $(x_0, y_0)$  ,  $(x_1, y_1)$  ב  $\mathbb{R}^2$ -המרחק האוקלידי ביניהן נתון על ידי הנוסחה :

$$d = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

### Hardware hops

כמות מעברים של צמתים.

### Software hops

כמות מעברים של צמתים חשובים (Backbone).

## 1. מבוא

במסגרת הלימודים בעזריאלי-המכללה האקדמית להנדסה ירושלים אני מבצע פרויקט גמר בשיתוף עם חברת ש.מ.ר אנרגיה. העבודה היא בנושא של תקשורת: ניתוב של נתונים במהירות גבוהה בין רכיבים בעלי אמצעי תקשורת אלחוטית המחוברים לרמזורים או פנסי תאורה לאורך כבישי העיר.

חברת ש.מ.ר אנרגיה עוסקת בתחום האנרגיה. החלה דרכה ב 2009 כשותפת מחקר עם חברת מילניום אלקטריק .  
מ-2012 עברה החברה לתחום התייעלות האנרגטית תוך שימת דגש על הפן העסקי של ביצוע מהלכים להתייעלות אנרגטית .

כעת, החברה מפתחת "עיר חכמה" ורוצה ליצור מערך חכם לשליטה על התנועה בעיר ע"י מערכת שפועלת באופן אוטומטי וללא מרכז בקרה שמאויש בכוח אדם תמידי . החברה רוצה להתקין מצלמות על מנורות הרחוב וחיישנים נוספים ובנוסף רכיבי תקשורת וכל זאת על מנת לקבל מידע תמידי על המצב בכביש.

בפרויקט זה אני מבצע חלק בנושא של תקשורת, שמאפשר תקשורת רציפה על מנת לחבר את כל הרכיבי העיר.  
התוצר של הפרויקט יהיה אלגוריתם של ניתוב ברשת מבוצרת שיודגם בעזרת סימולציה עם יומן אירועים שתדמה שליחות חבילות בין הרכיבים של עיר מסוים.



## 2. תיאור הבעיה

בהינתן כמה מכשירים זולים וקטנים עם מעבד לא חזק, למשל רסברי-פי (RASPERRY PI) יש ליצור ערוץ נתונים אלחוטי על מנת לקשר את הרכיבים הפעילים של העיר כמו למשל רמזורים, תאורת רחוב, או רכיבים אחרים עם מקור חשמל.

החיבור של כל המכשירים ביחד יצור רשת אלחוטית פרטית על מנת לענות על הצורך של עיר חכמה בפיתוח של מערך החכם לשליטה של תנועה בעיר.

הצורך של החברה הוא אכן יצירת רשת מבוזרת להעברת נתונים במהירות גבוהה מהרמזורים למרכז בקרת הרמזורים.

הרשת צריכה להיות אלחוטית ad-hoc שמשמשת בטכנולוגיה מבוזרת של "סוכנים חכמים"; כלומר ללא נתב מרכזי, וכל צומת (node) מסוגל לבצע עצמאית פעולות כמו:

- כניסה והתחברות לרשת הקיימת
- זיהוי שכנים ברשת
- שליחת הודעות
- קבלת הודעות
- העברת הודעות משכנים שמסביבו לכיוון תחנת קצה

לכן:

- הצומת חייב לדעת, לכל הפחות, את מיקומו ברשת.
- בהינתן צומת X שרוצה לשלוח הודעה לצומת Y כך ש X ו Y לא קרובים ; לאיזה כיוון X יידע לשלוח את ההודעה ?
- לצורך שליחת או העברת הודעה לכל צומת אחר, כל צומת צריך להחליף מידע עם השכנים שמסביבו על מנת לבנות תמונה קולקטיבית של מפת המכשירים.
- בנוסף, הרשת תדע לזהות ולדווח על אזורים ללא קליטה ותקלות שונות אחרות.

### מבחינת הנדסת תוכנה הבעיה היא :

- יצירת אלגוריתם שמתבסס על השיטה של *Quorum-Based Location Service*
- סימולציה של האלגוריתם, כלומר בנייה של מפה עם רכיבים כגון רמזורים, ספקים, מנורות, והעברת הודעות ביניהם.
- קריאת נתונים מקבצי מקור לתוך הסימולציה על מנת לשלוח את הנתונים והרכיבים של העיר מתוך קבצים חיצוניים.
- יומן אירועים שהסימולציה תקרא על מנת להדגים אירועים בזמן אמת.
- התמודדות עם בעיות של צמתים ברשת שהיא מבוזרת

### 3. תיאור הפתרון

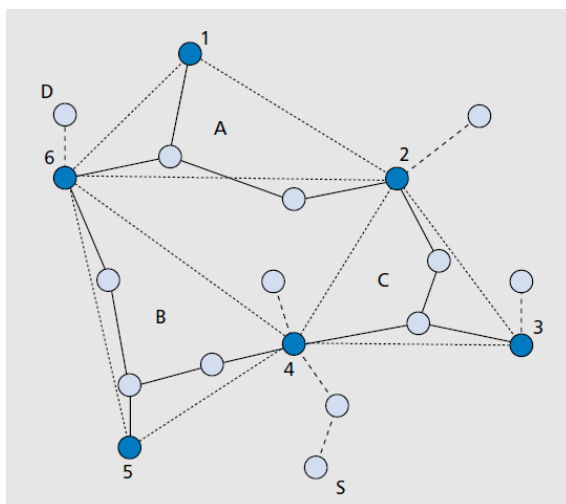
מטרת הפרויקט ולמעשה פתרון הבעיה הוא יצירה אלגוריתם של ניתוב ברשת מבוזרת. השימוש יהיה התקנה של תוכנת ה"סוכן" על מכשיר זול וקטן עם מעבד לא חזק וצריכת חשמל נמוכה.

מכשיר זה יורכב על אמצעים בעלי מקור חשמל בעיר. למשל: מנורות, רמזורים או כל מתקן אחר שמאפשר חיבור חשמלי. אחרי החיבור למקור חשמלי יהפוך המכשיר לצומת ברשת פרטית, וצמתים אחרים יוכלו לתקשר דרכו.

### תיאור הפתרון המוצע

המערכת היא אוסף של צמתים שהם ה-"סוכנים החכמים"

הרשת תדע להעביר חבילות אינפורמציה ממקום למקום, ללא תלות במרחק. כל צומת או "סוכן" (גם השולח וגם המקבל) יהיה ממוקם במקום בו יוכל לקלוט שידורים של שכן אחד לפחות. מנגנון בתוכנת הניהול יודא שכל צומת הוא בר גישה ויסמן את אלו שמנותקים. כל צומת שאינו יעד של הודעה, ידע להמשיך ולהעביר אותה לצומת הבא. אנחנו החלטנו להשתמש בשיטה של *Quorum-Based Location Service*.



A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks

Martin Mauve and Jörg Widmer, University of Mannheim Hannes Hartenstein, NEC Europe, Heidelberg

Z. J. Haas and B. Liang, "Ad Hoc Mobility Management with Uniform Quorum Systems," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 7, no. 2, Apr. 1999, pp.228-240.

M.Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein. "A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks." IEEE network 15, no. 6 (2001), pp. 30-39.

## שליבים של האלגוריתם Backbones And Quorums

### (1) שלב 1 אתחול

בשלב הזה, יש לנו גרף של צמתים (nodes).  
הקשתות בין הצמתים נוצרות על ידי רכיבי WIFI בעלי רדיוס שידור נתון שמאפשרים לכל צומת לקלוט את הצמתים שמסביבו.  
מכיוון שזאת סימולציה אנחנו מממשים את זה על ידי אלגוריתם חישוב פיתגורס (מרחק במרחב האוקלידי).  
אם צומת מספיק קרוב לצומת אחר (קליטת 40 Meters WIFI ~) אז נוצר קשת בין שני הצמתים האלו, וכך לכל הרשת.

### (2) שלב 2 : ניתוח של הגרף

(א) חילוק לתתי-גרף Quorum

מחלקים את הגרף לתתי-גרף, כל תת-גרף נקרא Quorum.  
מגדירים תתי-גרף כך שנוצרת חפיפה של לפחות צומת אחד בין כל תת-גרף.

כדי לחלק את הגרף אנחנו משתמשים באלגוריתם Breadth-first search (BFS).  
אלגוריתם חיפוש לרוחב, הוא אלגוריתם המשמש למעבר על צמתי גרף, לרוב תוך חיפוש צומת המקיים תכונה מסוימת. צומת כלשהו בגרף נקבע להיות הצומת ההתחלתי,  $V_0$ , והאלגוריתם עובר על כל הצמתים במרחק צלע אחת מ  $V_0$  ואז על כל הצמתים במרחק 2 צלעות מ  $V_0$  וכן הלאה. צורת חיפוש זו היא חיפוש לרוחב הגרף.

אנחנו מריצים את האלגוריתם מספר פעמים באופן איטרטיבי.  
נוצר תת-קבוצה אחת אחרי שה-BFS עבר על 4 צמתים "שחורים".  
האיטרציה הבאה תתחיל מכל צומת שסומן באפור.  
ובצורה הזאת אנחנו מיצרים תתי-גרף בגודל חמש צמתים בערך.

## ב) הגדרת צומת חשוב Backbone

הצמתים ה"חשובים" הם צמתים שגורמים לחפיפות בין התתי-גרף. הצמתים האלו נקראים Backbone, הם מכילים מידע על המיקום ומסלולים אל הצמתים בתת הגרף שלהם. יש תמיד חפיפה בין ה Quorums וזה מתבטא בשיתוף של Backbone לכל Quorum בצורה כזאת אנחנו יוצרים תקשורת רציפה בכל רחבי הרשת. אנחנו מגלים את הצמתים האלו בשלב של החילוק לתתי גרף. על כל ריצה של האלגוריתם BFS הצומת ההתחלתי הוא יהיה Backbone כאשר גילינו אותו בריצה הקודמת (מכיוון שאנחנו מריצים את ה-BFS שוב על האפורים). הריצות של ה-BFS מסתיימות ברגע שעברנו על כל הצמתים של הרשת.

## 3) שלב 3 : בנייה של המסלולים

אנחנו בונים אלגוריתם של ניתוב שמאפשר לכל Backbone להכיר ולדעת איך הוא יכול להעביר הודעה לצומת אחר בתוך ה- Quorum שלו, ובנוסף ניתוב בין כל Backbone, ובכן כל Backbone תדע מי ה- Backbone שקרוב ממנו וגם איך להגיע אליו.

לכל צומת יש וקטור של וקטורים שנקרא ניתוב. כל וקטור שנמצא בו וקטור ניתוב מכיל מסלול אחד לצומת החשוב הקרוב. האלגוריתם הזה נבנה מהאלגוריתם הרקורסיבי של ה- DFS.

כדי לבנות את המסלולים האלה, עבור כל צומת אנחנו מריצים את האלגוריתם DFS כאשר קיימים שני תנאי ריצה:

הראשון הוא מציאת Backbone שהוא צומת חשוב. השני הוא שהאורך מקסימום של המסלול, אינו גדול מגודל התת-גרף.

כתוצאה מכך כל צומת יחזיק וקטורים שהם יהיו המסלולים אל הצמתים החשובים שמסביבו.

כאשר צומת X רוצה לשדר הודעה לצומת Y, צומת X שולח בקשת ניתוב ל- Backbone הקרוב אליו, ה- Backbone מעביר את בקשת הניתוב ל- Backbone אחר בקרבתו, וכן הלאה עד שהבקשה מגיעה ל- Backbone שמכיר את הצומת Y. כך הודעה מ"בעבעת" מהצומת X על המסלול המנותב אל צומת Y.

#### (4) שלב 4 : השליחה

בקובץ Simulation יש לנו פונקציה שנקראת Network Send. הפונקציה הזאת מדמה את הרכיב WIFI לשליחת חבילות. כל צומת שרוצה לשלוח חבילה משתמש ברכיב הזה כאשר הרכיב הזה פועל לפי הנתונים לוגי של הפונקציה Send של כל צומת.

לוגיקה של הפונקציה Send

(A) בדיקה של הסביבה

- אם הצומת היעד הוא בקליטת WIFI של הצומת המקומי אז פשוט לשלוח את החבילה.
- אם הצומת המקומי הוא היעד אז החבילה כבר הגיעה

(B) אם החבילה היא מסוג INFO

(א) אם הצומת המקומי הוא לא Backbone אז הסוג של החבילה הופכת ל- INFO\_TO\_QUORUM

(ב) אם הצומת המקומי הוא Backbone

(i) אם הצומת היעד נמצא בתת-גרף שלו אז הסוג של החבילה הופכת ל- INFO\_IN\_QUORUM

(ii) אם הצומת היעד לא נמצא בתת-גרף שלו אז הסוג של החבילה הופכת ל- INFO\_TO\_QUORUM

(C) אם החבילה היא מסוג INFO\_IN\_QUORUM

(א) תחפש את הצומת היעד בתוך התת-גרף

(ב) אם יש תקלה אז הסוג של החבילה הופכת ל- NAK\_INFO\_IN\_QUORUM

(ג) אם הצומת המקומי הוא הצומת היעד אז הסוג של החבילה הופכת ל- ACK

(D) אם החבילה היא מסוג NAK\_INFO\_IN\_QUORUM  
זאת אומרת שקרתה תקלה לכן החבילה חוזרת למקור עם הודעה מסוג NAK

(E) אם החבילה היא מסוג INFO\_TO\_QUORUM  
(א) תשלח את החבילה ל- Backbone הבא.  
(ב) אם ביקרנו את כל ה-Backbones שמסביבו או שיש תקלה אז הסוג של  
החבילה הופכת ל- NAK\_INFO\_TO\_QUORUM

(F) אם החבילה היא מסוג NAK\_INFO\_TO\_QUORUM  
(א) תחפש אם יש Backbone אחר בסביבה שלו.  
(ב) אם אין Backbone אחר תתקפל אחורה ושוב תשלח ל- Backbone אחר.  
(ג) אם אין לך איפה להתקפל, סימן שלא מצאת את הצומת היעד שלך לכן  
תחזיר את החבילה למקור עם הודעה NAK

## תיאור הכלים המשמשים לפתרון

בניית תוכנה הדמיה (סימולציה) שתקבל :

- עיר עם הרכיבים שלה כמו רמזורים , מנורות כביש מרכז בקרת רמזורים
- זיהוי ותקשורת בין רכיבי הרשת
- יומן אירועים, והזנה שלו אל תוך ההדמיה

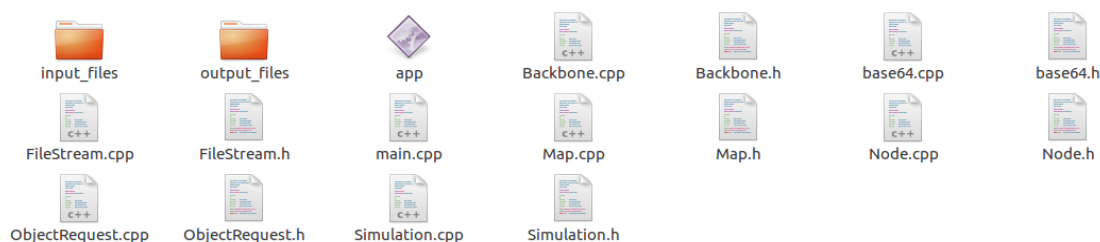
ההדמיה תריץ את התוכנה הפנימית של כל "סוכן" (צומת) כאשר כל אחד מכיל אוסף של אלגוריתמים של רשת Ad-Hoc מבוזרת, וניתוב, לפי סוג ה-"סוכן".  
התוכנה תדמה אירועים בזמן אמת על ידי קריאה של יומן אירועים מתוך קובץ, ובנוסף תפעיל את הרכיבים כדי לענות על מצבים בהתאם.

- שפת כתיבה של האלגוריתם : C++
- שפת כתיבה של הסימולציה : C++
- סביבת פיתוח VMware לפיתוח האלגוריתם שמדמה סביבת Linux
- תוכנת EXCEL לבניית הגרפים לפי הנתונים הנפלטים מהקבצים של הסימולציה

המימוש הוא בשפת C++ והיא גם חלק חשוב בפרויקט .  
"C++", היא שפת תכנות מרובת פרדיגמות המבוססת על שפת התכנות C, שפותחה בשנות ה-80.  
C++ מיישמת עקרונות של תכנות פרוצדורלי, תכנות מונחה-עצמים ותכנות גנרי. שפה זו הינה אחת השפות הפופולריות בקרב מתכנתים בעולם עד היום, ושפות פופולריות אחרות (כגון Java ו-C#) הושפעו ממנה במידה רבה מאוד.

## 4. תיאור מערכת ממומשת

(A) קבצים להרצת הסימולציה:



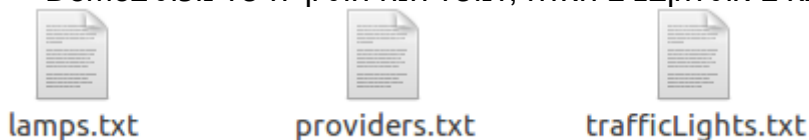
מה שחשוב למשתמש הן התיקיות input\_files ו-output\_files

### (1) התיקיה input\_files:



בתיקייה הזאת נמצאים את המפות שמהם המשתמש יריץ את הסימולציה ואת היומן אירועים:  
(א) מפות

לכל מפה נמצאים את הקבצים האלה, למשל הנה התיקייה של מפת Demo2



הקבצים האלה מכילים את השמות של הרכיבים והמיקומים (x,y) שלהם:

Lamps			Providers			Traffics Lights		
L1	0	0				T1	35	0
L2	70	0				T2	105	0
L3	140	0				T3	175	0
L4	210	0				T4	245	0
L5	280	0				T5	315	0
L6	350	0				T6	385	0
L7	420	0				T7	455	0
L8	490	0	P1	510	25	T8	525	0



(ב) יומן אירועים: Events-Schedule











Schedule.txt

בקובץ הזה נמצאים האירועים של הסימולציה, כל שורה הוא אירוע

```
0      37      Red_TrafficLight_0_is_not_working
0      37      Red_TrafficLight_0_is_now_operational
```

למשל רמזור 0 שולח הודעה לספק 37 בשביל להודיע לו שיש לו תקלה.

(2) התיקיה output files:

Name	Size	Type	Modified
 Traceroutes.txt	468.8 kB	Text	09:47
 Statistic.txt	212 bytes	Text	09:48
 Quorums.txt	847 bytes	Text	09:47
 messages.txt	635.8 kB	Text	09:48
 Map.txt	7.4 kB	Text	09:47
 log.txt	3.6 MB	Text	09:48
 Graph of software hops.txt	243 bytes	Text	09:48
 Graph of hardware hops.txt	615 bytes	Text	09:48

## Traceroutes

הקובץ הזה מכיל את הווקטורים של כל צומת אל ה- Backbones שמסביבו.

TraceRoute for each node of the Map : Demo3

List of L1 :

```
{ ID : 10 , Name : L11 }  
{ ID : 20 , Name : L21 }  
{ ID : 51 , Name : T21 }  
{ ID : 21 , Name : L22 }
```

List of L1 :

```
{ ID : 10 , Name : L11 }  
{ ID : 41 , Name : T11 }
```

## Statistic

הקובץ הזה מכיל את כל הסטטיסטיקה של הסימולציה

Statistic:

```
-----  
number of Requests : 3660  
number of Success : 3660  
number of Failures : 0  
Percentage of failures : 0 %  
TIME IN SECOND : 58.102  
-----
```

## Quorum

הקובץ הזה מכיל את כל ה- Quorums של המפה

Quorums of the Map : Demo3

Backbone Name : L1, contains : L11 T1 L21 T11 L2 T21

Backbone Name : L4, contains : T4 L5 T14 L15 T5 T24

Backbone Name : L8, contains : T8 L9 T18 L19 T9 T28

Backbone Name : L22, contains : T22 L23 T12 L13 T23 T2

Backbone Name : L26, contains : T26 L27 T16 L17 T27 T6

## Map

הקובץ הזה מכיל את כל הנתונים של כל הרכיבים של המפה

Name of the Map : Demo3

-----  
TYPE: Backbone | ID : 0 | Name : L1 | Position : (0,0)  
available Nodes :  
[L11,T1]

Quorum of Backbone L1, contains : L11 T1 L21 T11 L2 T21

-----  
TYPE: LAMP | ID : 1 | Name : L2 | Position : (70,0)  
available Nodes :  
[L12,T1,T2]

-----  
TYPE: LAMP | ID : 2 | Name : L3 | Position : (140,0)  
available Nodes :  
[L13,T2,T3]

## Log

הקובץ הזה מכיל את הלוג של הסימולציה

```
INFO 0
ACK RECEIVE : 0 SENT MESSAGE TO 1
INFO 0
INFO_TO_QUORUM 10 For backbone 21
INFO_TO_QUORUM 20 For backbone 21
INFO_TO_QUORUM 51 For backbone 21
INFO_TO_QUORUM 21 For backbone 21
INFO 21
INFO_TO_QUORUM 11 For backbone 41
INFO_TO_QUORUM 1 For backbone 41
INFO_TO_QUORUM 31 For backbone 41
INFO_TO_QUORUM 41 For backbone 41
INFO 41
INFO_TO_QUORUM 11 For backbone 32
INFO_TO_QUORUM 1 For backbone 32
ACK RECEIVE : 0 SENT MESSAGE TO 2
```

### Graph of hardware hops

הקובץ הזה מכיל את הנתונים לבניית גרף של Hardware Hops  
ציר ה-X: גודל המסלול  
ציר ה-Y: כמות של מסלולים בגודל x

#### ----- Graph of hardware hops

0	0
1	202
2	153
3	99
4	94
5	96
6	116
7	99
8	70
9	70
10	81
11	69

### Graph of software hops

הקובץ הזה מכיל את הנתונים לבניית גרף של Software Hops  
ציר ה-X: גודל המסלול  
ציר ה-Y: כמות של מסלולים בגודל x

#### ----- Graph of software hops

0	0
1	0
2	479
3	324
4	271
5	208
6	190
7	277
8	160
9	184
10	224
11	194

## (B) פקודות להרצת הסימולציה:

דרישות :

- סביבת עבודה צריך להיות Linux
- קומפיילר C / C++
- אם הבחירה היא הרצת לפי יומן אירועים אז צריך שיופיע הקובץ הזה בתוך התיקייה של Events-Schedule שהוא נמצא בתוך התיקייה input\_files.

קימפול של הקבצים:

```
g++ -std=c++11 *.cpp *.h -o app
```

הרצת של הסימולציה:

קיימים שני מצבים לסימולציה

- מצב רגיל כלומר האירועים קוראים לפי היומן אירועים
- מצב טסטים (TESTS) כלומר נשלחות הודעות מכל צמתי הרשת לכל צמתי הרשת.

```
./app W X Y Z > output_files/log.txt
```

כאשר :

W = city\_name

X = choice 0 for test OR 1 for Events-Schedule

Y = max\_hop

Z = id\_from\_we\_start\_to\_construct\_the\_quorums

במקרה של שגיאות קלט או שחסרים קבצים , תודפס בקובץ log את ההסבר על השגיאה.  
למשל :

מקרה: 1

```
Error of input, Please write :  
<city_name> <choice> <max_hop> <id_from_we_start_to_construct_the_quorums>  
The choice should to be 0 for test or 1 for Events-Schedule
```

מקרה: 2

```
The choice should to be 0 for test or 1 for Events-Schedule
```

מקרה: 3

---

```
ERROR TO OPEN THE FILE  
your file : input_files/Demo3D/lamps.txt is corrupted  
ERROR TO OPEN THE FILE  
your file : input_files/Demo3D/providers.txt is corrupted  
ERROR TO OPEN THE FILE  
your file : input_files/Demo3D/trafficLights.txt is corrupted
```

מקרה: 4

---

```
The id from start to construct the quorum is not valid (x > numbers of elements)
```

וכו'...

ההרצה יכולה לקחת הרבה זמן , היא תלויה בגודל של הרשת ובכמות של שליחת חבילות לכן  
לנוחות המשתמש אנחנו משמעים סאונד כאשר ההרצה מסתיימת.

## 5. תכנית בדיקות

### ○ בדיקות ממשק המשתמש.

סטטוס	בדיקה
OK	בדיקת תקינות של הקלט
OK	בדיקה שהוזן שם של מפת העיר
OK	בדיקה של קיום תיקייה של העיר
OK	בדיקה של קיום של הקובץ מנורות כביש
OK	בדיקה של קיום של הקובץ רמזורים
OK	בדיקה של קיום של הקובץ ספקים
OK	בדיקת נכונות של הקובץ מנורות כביש
OK	בדיקת נכונות של הקובץ רמזורים
OK	בדיקת נכונות של הקובץ ספקים
OK	בדיקת שהוזן 0 בשביל ריצת טסטים או 1 בשביל ריצה שמתבססת על יומן אירועים
OK	בדיקה של קיום של יומן אירועים
OK	בדיקת נכונות של הקובץ יומן אירועים
OK	בדיקת שהוזן מספר של Max Hop
OK	בדיקת שהוזן מספר שבו מתחילים לבנות את ה- Quorums
OK	בדיקת תקינות של המספר שבו מתחילים לבנות את ה- Quorums

### ○ בדיקות שימושיות-בדיקות שמטרתן לבדוק את נוחות השימוש במערכת.

סטטוס	בדיקה
OK	פלט לתוך קובץ log את הנתונים של הסימולציה
OK	הדפסות של שגיאות בזמן ריצה
OK	פלט לתוך קובץ Statistics את כל הסטטיסטיקות של הריצות
OK	פלט לתוך קובץ messages את כל ההודעות שנשלחו בין הצמתים
OK	פלט לתוך קובץ Map את כל הרכיבים של העיר עם הנתונים שלהם
OK	פלט לתוך קובץ Quorums את כל התתי-גרף של העיר
OK	פלט לתוך קובץ Traceroutes את כל המסלולים בין התתי-גרף (Quorums) של העיר.
OK	פלט לתוך קובץ Graph of hardware hops את הנתונים בשביל לבנות גרף של Hardware Hops
OK	פלט לתוך קובץ Graph of software hops את הנתונים בשביל לבנות גרף של Software Hops
OK	השמעת סאונד כאשר ההרצה מסתיימת

- בדיקות אינטגרציה - בדיקות שילובן של יחידות התוכנה השונות הכלולות במערכת .  
נבדוק את האינטגרציה בין חלקים שונים במערכת.

סטטוס	בדיקה
OK	כל הנתונים מהקוד עוברים לקבצים בצורה נכונה ומדויקת.
OK	הקבצים תקינים ונפתחים כמו שצריך.

- בדיקות פונקציונליות – בדיקות שמטרתן לבדוק כי המערכת עושה את מה שהיא צריכה לעשות.

סטטוס	בדיקה
OK	בדיקות על ה File Stream : הרצת מספר בדיקות שונות על קריאת מידע מקובץ מקור חיצוני למשל קריאת קובץ של עיר מסוים עם כל הנתונים שלה רמזורים בקרת רמזורים , מנורות כביש.
OK	בדיקה של בניית אובייקטים: הרצת מספר בדיקות על יצירת אובייקטים כאשר הנתונים שלהם נשלפים מקובץ מקור חיצוני. הנתונים יכולים להיות מספר זיהוי , שם של האובייקט , סוג של האובייקט , מיקום של האובייקט.
OK	בדיקת נכונות של המפה: אנחנו בודקים שכל הנתונים שנשלפו מהקובץ מקור חיצוני נמצאים פיזית על המפה. כמו כן פיתחנו שיטה שמדפיסה את המפה עם כל הפרטים שלה.
OK	בדיקת האלגוריתם מרחק: אלגוריתם המרחק מדמה את מרחק קליטה WIFI, על ידי חישוב פיתגורס מיצרים קשתות בין האובייקטים (צמתים).
OK	בדיקת אלגוריתם בניית Quorum: הרצת בדיקת של בניית תתי-הגרף , חשוב לבדוק שהאלגוריתם שמריץ באופן איטרטיבי BFS מתפקד כמו שצריך , בדיקה שיש תמיד חפיפות בין כל תתי-הגרף .
OK	בדיקת אלגוריתם של הווקטור "ניתוב": כל Backbone צריך לדעת איך להגיע לכל הצמתים שנמצאים בתת-גרף שלו (Quorum). הרצת בדיקת נכונות המסלולים.
OK	בדיקת אלגוריתם ניתוב בין Backbones: כל Backbone צריך לדעת איך להגיע ל-Backbones שקרובים אליו. הרצת בדיקת נכונות המסלולים
OK	בדיקת בניית יומן אירועים: הרצת בדיקת על יצירת יומן אירועים מלאכותי
OK	בדיקת נכונות של הסימולציה: הרצת יומן אירועים על מפה, שליחת הודעות מכל צומת לכל צומת אחר ובדיקת נכונות התוצאות



- בדיקות תחזוקתיות – בדיקות שמטרתן לבדוק האם יהיה אפשר לעדכן או לתקן את התוכנה לאחר שחרור הגרסה הראשונית ובנוסף לבחון את צורת כתיבת הקוד, והאם הוא כתוב בצורה פשוטה.

סטטוס	בדיקה
OK	הקוד מתועד וברור לקריאה.
ניתן	ניתן לעדכן את הקוד לצורך אחר
ניתן	ניתן לשנות את המפות של הערים, למחוק אותם או להוסיף אחרים
ניתן	ניתן לשנות את הנתונים של הקובץ יומן אירועים
ניתן	ניתן להריץ מצב טסט שלא תתחשב ביומן אירועים אלא ישלח את ההודעות לכל הצמתים ברשת

## 6. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה

השתמשתי במאמרים האלה בשביל לבנות את האלגוריתם שלי שמתבסס על  
Backbones and Quorums

*A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks*  
Martin Mauve and Jörg Widmer, University of Mannheim Hannes Hartenstein,  
NEC Europe, Heidelberg

Z. J. Haas and B. Liang, "Ad Hoc Mobility Management with Uniform Quorum  
Systems," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 7, no. 2, Apr. 1999, pp.  
228–40.

M.Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein. "A survey on position-based routing in  
mobile ad hoc networks." IEEE network 15, no. 6 (2001), pp. 30-39.

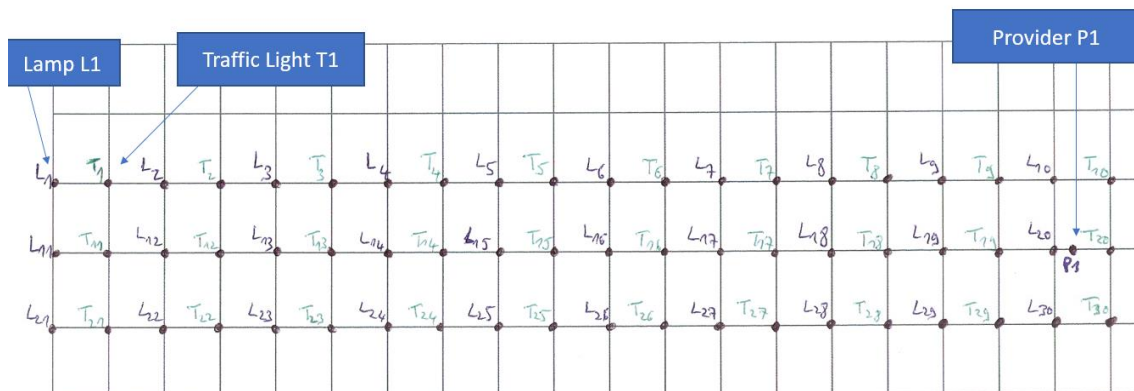
## 7. סיכום ומסקנות

אנחנו נראה לכם שליחת הודעה עם השיטה שפיתחנו Backbones and Quorums. ואז נעשה השוואות נתונים עם כמה שכונות (מפות) עם השיטה שלנו ובלי. (הכוונה ב-"בלי" היא שליחת חבילות ללא חשיבה של Backbones and Quorums).

יש לנו שלוש מפות:

- Paris  
המפה הזאת היא שכונה בלב פריז
- Demo2  
המפה הזאת היא שכונה דמיונית
- Demo3  
המפה הזאת היא שכונה דמיונית

### 1) תוצאות מפורטות על המפה Demo3

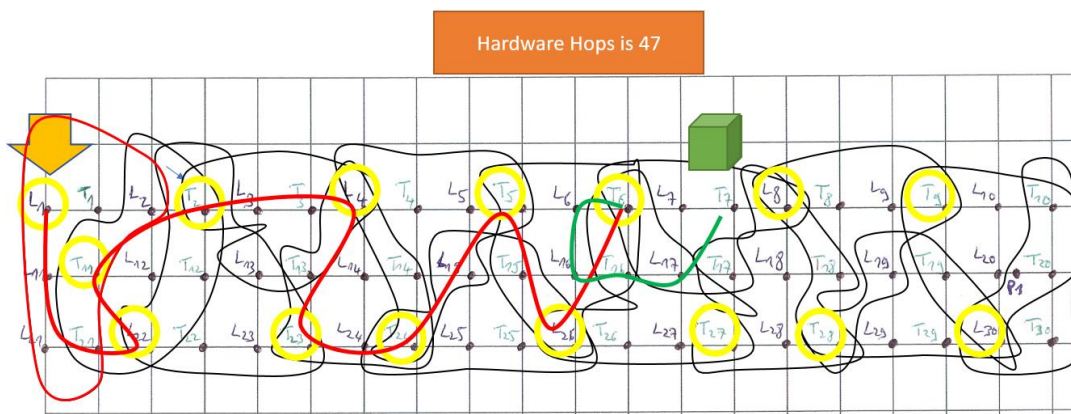


כאן אפשר לראות רשת דו ממדית (GRID) בה 3 שורות מאוכלסות על ידי סוכנים שהם רמזורים ומנורות כביש. בשורה שנייה הוספתי צומת שהוא הבקרת הרמזורים. אבל מבחינתנו כל הצמתים דומים מכיוון שהם צמתים עם מידע מקומי בלבד. הקשתות בין הצמתים נוצרות על ידי רכיבי WIFI בעלי רדיוס שידור נתון שמאפשרים לכל צומת לקלוט את הצמתים שמסביבו. אם צומת מספיק קרוב לצומת אחר (קליטת WIFI 40 Meters ~) אז נוצר קשת בין שני הצמתים האלו, וכך לכל הרשת. לדוגמה L1 קולט את L11 ו-T1

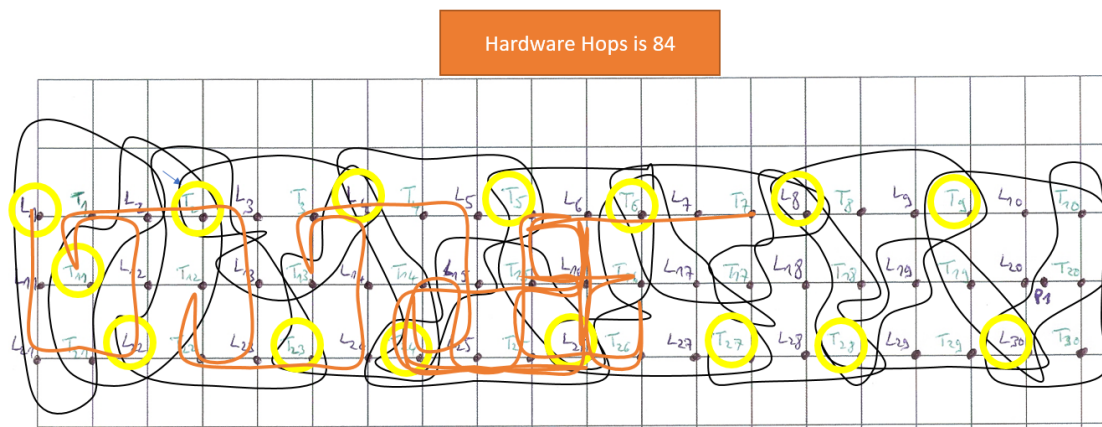
בסרטון (של שלב המסירה) הראינו דוגמה של שליחת הודעה מ- L1 ל- T7 במפה Demo3.

Hardware hops: כמות מעברים של צמתים.

עם Quorums



בלי Quorums



בהדגמה ללא Backbones, הביצועים לא טובים, המספר של המעברים הוא 84 במקום 47. כמו שאתם יכולים לראות המערכת שולחת את החבילה לכל הצמתים עד שהיא מגיעה לצומת היעד.

לכן אנחנו חוסכים במעברים של החבילות בגלל שהחבילות לא מנותבות כל פעם אלא רק כאשר הן מגיעות ל- Backbone

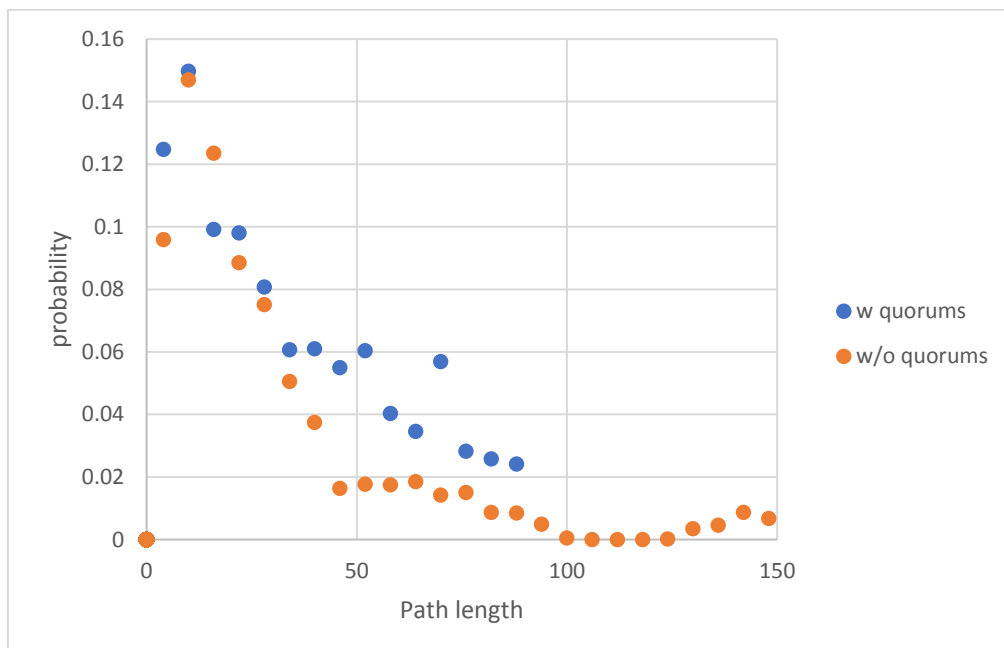
### גרף נתונים של מפת Demo3

הגרף הבא מתבסס על נתונים כאשר אנחנו נמצאים במצב "טסט" כלומר שליחת הודעות מכל צומת לכל צומת.

ציר ה-x : אורך מסלול

ציר ה-y : הסתברות לקבל מסלול באורך x

הנקודות הכחולות מייצגות את הנתונים עם Quorums  
הנקודות הכתומות מייצגות את הנתונים בלי Quorums



(i) הסתכלות על הגובה כלומר על ההסתברות

כמו שאתם יכולים לראות הגרף הכחול נמצא ברוב הזמן מעל הגרף הכתום  
ההסתברות לקבל מסלול באורך  $x$  הוא ברוב יותר גבוה אצל הגרף הכחול

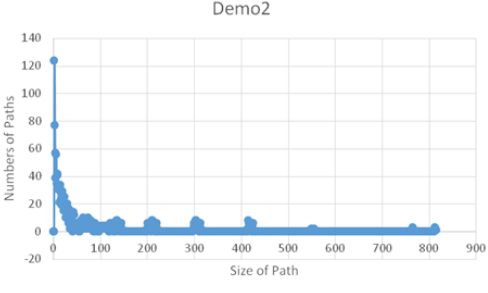
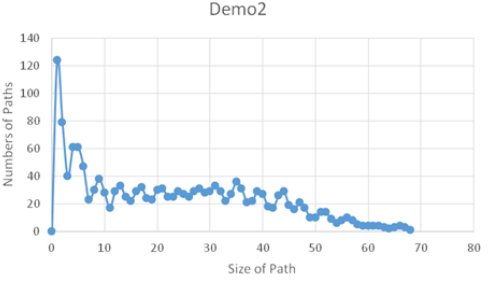
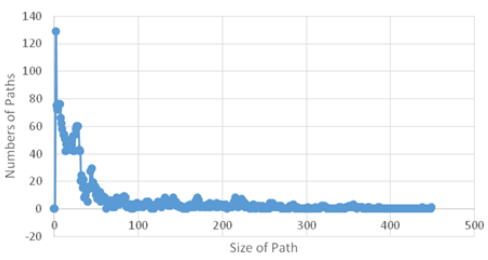
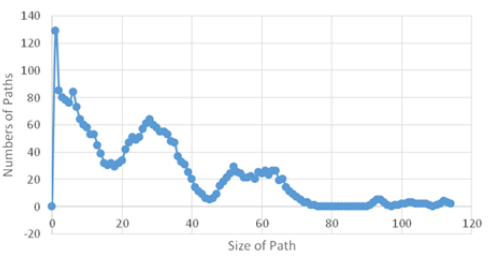
(ii) הסתכלות על הרוחב כלומר אורך של המסלולים

האורך של הגרף הכחול קצר בהרבה יותר מאשר הגרף הכתום  
כלומר המסלולים של הגרף הכתום הרבה יותר ארוכים.

(2) תוצאות כלליות על מפות אחרות

הגרפים הבאים מתבססים על נתונים של מפות אחרות כאשר אנחנו נמצאים במצב  
"סטט" כלומר שליחת הודעות מכל צומת לכל צומת.  
הגרפים האלו הם גרפים של כמות המסלולים בהינתן מסלול באורך  $x$ .

ציר ה- $x$  : אורך מסלול  
ציר ה- $y$  : כמות המסלולים באורך  $x$

City	Without Quorums	With Quorums
Demo 2		
Paris		

כמו שניתן לראות ההבדל בין הגרפים עם Quorums והגרפים בלי Quorums הוא מאוד משמעותי, המסלולים בלי Backbones מאוד ארוכים.

<u>עיר Demo2</u>	<u>עיר Paris</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• עם Quorums</li> </ul> <p>אורך המסלול המקסימום הוא 68</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• עם Quorums</li> </ul> <p>אורך המסלול המקסימום הוא 114</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בלי Quorums</li> </ul> <p>אורך המסלול המקסימום הוא 815</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• בלי Quorums</li> </ul> <p>אורך המסלול המקסימום הוא 449</p>

לכן עם השיטה של ה-Backbones ניתן לשפר בצורה משמעותית את הביצועים של המערכת בשליחת הודעות.

אנחנו חוסכים במעברים מפני שהחבילות מנותבות כאשר הן מגיעות ל-Backbone ולא בכל צומת.

בנוסף אם הצומת היעד נמצא ב-Quorum של ה-Backbone אז ההודעה נשלח ישיר אל הצומת היעד בלי לחפש שוב איפה היעד נמצא בכל צומת.

## 8. נספחים

### א) רשימת ספרות

Z. J. Haas and B. Liang, "Ad Hoc Mobility Management with Uniform Quorum Systems," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 7, no. 2, Apr. 1999, pp. 228–40.

M. Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein. "A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks." IEEE network 15, no. 6 (2001), pp. 30-39.

Wireless ad hoc network

Chai Keong Toh Ad Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall Publishers, 2002.

Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, Ad hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols, Prentice Hall PTR, May 2004.

The C++ Programming Language  
By Bjarne Stroustrup

Programming -- Principles and Practice Using C++  
By Bjarne Stroustrup

A routing strategy and quorum based location update scheme for ad hoc wireless networks  
By Ivan Stojmenovic and Bosko Vukojevic

A scalable quorum based location service in ad hoc and sensor networks

By Ivan Stojmenovic, Dandan Liu and Xiaohua Jia

Localisation et routage géographique dans les réseaux MANETs  
By Mohamed Bakhouya, Ahmed Nait-Sidi-Moh

Ad Hoc Mobility Management with Uniform Quorum Systems  
By Zygmunt J. Haas, Senior Member, IEEE and Ben Liang, Student Member, IEEE



Quorum-based Location Service in Vehicular Sensor Networks  
By Euisin Lee, Hyunsoo Choe, Pragadheeshwaran Thirumurthi, Mario Gerla,  
and Sang-Ha Kim

Programmez avec le langage C++  
By Mathieu Nebra (Auteur), Matthieu Schaller

Le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc  
By Nicolas DAUJEARD, Julien CARSIQUE, Rachid LADJADJ, Akim  
LALLEMAN

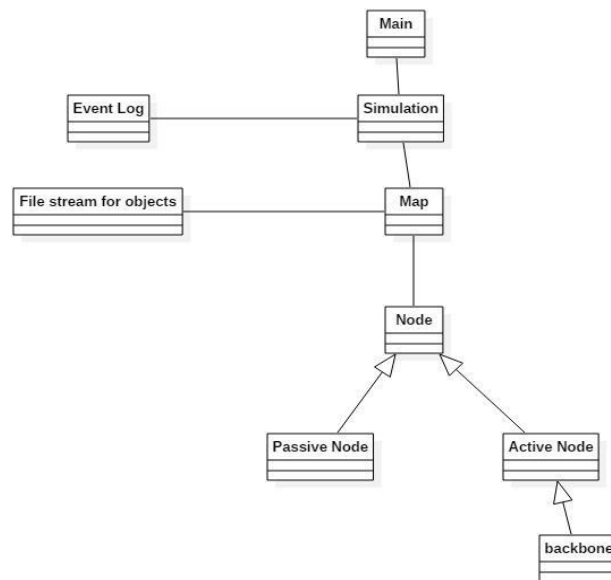


## ב) מערכות ניהול הפרויקט

#	מערכת	מיקום
1	מאגר קוד	<a href="https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents">https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents</a>
2	יומן	<a href="http://projects.jce.ac.il/moodle/mod/wiki/view.php?id=679">http://projects.jce.ac.il/moodle/mod/wiki/view.php?id=679</a>
3	ניהול פרויקט	<a href="https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents">https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents</a>
5	סרטון	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6kL3JIsYJUUpRVFBMkRIR1g0aTg/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6kL3JIsYJUUpRVFBMkRIR1g0aTg/view?usp=sharing</a>

## ג) תרשימים וטבלאות

### Class diagram



Event Log: קובץ שתכיל רשימת אירועים.

Main: נקודה התחלה של התוכנה, מאתחל את הסימולציה

Simulation: מחלקה שתקרא מהיומן (Event Log) ותרץ אירועים

File Stream: מחלקה שתבצע קריאת נתונים מקבצי מקור לתוך הסימולציה על מנת לשלוף את הנתונים והרכיבים של העיר מתוך קבצים חיצוניים.

Map: מחלקה שתממש את המפה של העיר, היא תשתמש בFile Stream כדי לבנות את האובייקטים של המערכת.

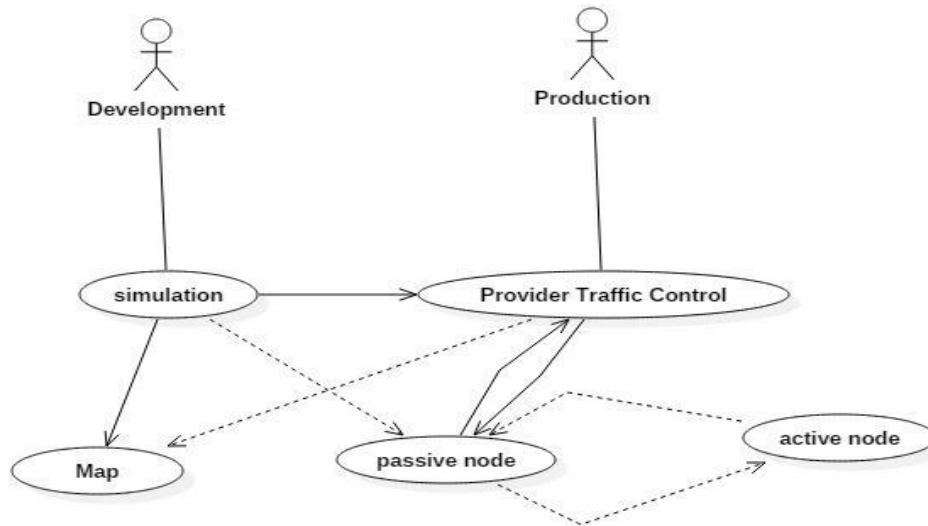
Node: הוא צומת של הרשת, הוא יכול להיות רמזור, תאורה, ספק.

Passive Node: הוא Node פסיבי כלומר מבצעים עליו פעולות. צמתים אלו הם בשימוש בזמן הפיתוח וההדמיה.

Active Node: הוא Node אקטיבי הנמצא בשימוש במעבר למערכת בעיר אמיתית. קיימים שני סוגים:

- Provider: הוא יוזם את הפעולה על Node אחר.
- Backbone: הוא צומת חשוב שיודע יותר דברים על אחרים

## Use Case Diagram



Production	Development
<p>Initialization of the system:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Read Map</li> <li>2) When a node lights up → Discover its neighbors → Calculate Distance → By sending messages decide a quorum</li> <li>3) Node or Provider (S) wants to send a message to another Node (D)</li> <li>4) Send a Query to calculate Route</li> <li>5) Send the packet to the destination</li> </ol>	<p>Simulation start:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Read Map</li> <li>2) For every Node Calculate Distance</li> <li>3) For every Node Calculate quorum</li> <li>4) Read Event from the event file</li> <li>5) Decide (S) Source and (D) Destination nodes following the event</li> <li>6) Node S sends query to calculate route to D</li> <li>7) Node S sends packet to the Node D</li> <li>8) Repeat step 4</li> </ol>

## ד) תכנון הפרויקט

פגישת הכרות עם הלקוח	15/10/16
חשיבה על בנייה המוצר , פתרונות אפשריים	09/11/16
תחילת עבודה על מסמך ההצעה.	12/11/16
לימוד , חזרה על שפת C++	17/11/16
תכנון סביבת הסימולציה	29/11/16
הגשת מסמך ההצעה.	04/12/16
בניית העיר , מפה , רמזורים , מנורות	07/12/16
בדיקת מקרי קצה במערכת בניית הרכבים של העיר	09/12/16
בניית ממשקים לשליפת נתונים מקבצי חיצונים לתוך המפה של העיר	15/12/16
בדיקת מקרי קצה במערכת לשליפת נתונים מקבצי חיצונים לתוך המפה של העיר.	18/12/16
התחלת על עבודת שלב האב-טיפוס.	05/01/17
כתיבה של אלגוריתם ניתוב DFS/BFS לבניית Quorums, ולבניית מסלולים בין Quorums	12/02/17
הרצות ובדיקות של האלגוריתמים	15/03/17
כתיבה של אלגוריתם ניתוב סופי	13/04/17
בדיקה של אלגוריתם ניתוב סופי	20/04/17
עבודה על מערכת הסימולציה והתאמתה לצרכים הנדרשים בפרויקט	30/04/17
בניית ממשקים ליצירה ולשליפה של יומן אירועים לצרכי סימולציה	21/05/17
בדיקות ממשקים ליצירה ולשליפה של יומן אירועים לצרכי סימולציה	30/05/17
בניית יומן אירועים	07/06/17
התחלת עבודה על מסמך סופי והסרט	08/06/17
בדיקות יומן אירועים	10/06/17
הגשת המסמך הסופי והסרט כחלק משלב ההעברה	21/06/17

## ה) טבלת סיכונים

#	הסיכון	חומרה	מענה אפשרי
1	אי עמידה בלוח זמנים ובמועד הסיום הסופי	4	זירוז תהליך העבודה ואף במקרה חריג הסרת חלק מהדרישות ההתחלתיות.
2	המוצר הסופי לא תואם במלואו את דרישת הלקוח	3	הכנסת מסמך דרישות ביחד עם נציג הארגון.
	אלגוריתם מציאת מרחקים לא מחשב טוב	2	תיקון שגיאות על ידי ריצה מספר פעמים של האלגוריתם וחישוב מחדש
	אלגוריתם בניית תתי-גרף לא מחלק את הגרף בצורה נכונה	3	שינוי פרמטר של גודל תתי-גרף בדיקות של הצמתים שגורמים לחפיפה
	אלגוריתם בניית מסלולים בין ה-Quorums , ובניית מסלולים בתוך ה Quorum לא מתפקד	3	שינוי של צורת החישוב מסלולים

## ו) טבלת דרישות

מס' דרישה	תיאור
1	בניית סביבת הסימולציה
2	בניית העיר , מפה , רמזורים , מנורות
3	בניית ממשקים לשליפה נתונים מקבצי חיצונים לתוך המפה של העיר
4	בניית ממשקים ליצירה ולשליפה יומן אירועים לתוכנית של סימולציה
5	בניית אלגוריתם של ניתוב של מערכת ad-hoc מבוזרת
6	הכנה של יומן אירועים
7	ריצות של האלגוריתם
8	בניית ממשקים ליצירת פלט של הסטטיסטיקות והנתונים של הסימולציה
9	בדיקות של הסימולציה
10	הוצאת קובץ אקסל של סטטיסטיקה ובניית גרפים

## Abstract

As part of the requirements for the BSc Software Engineering degree in Azrieli – College of Engineering Jerusalem, I will implement a final project for the company SHEMER ENERGY LTD.

This company develop a “smart city” and want to create a smart system to control the traffic in the city by automatically system and without control center.

I need to create an algorithm that will allow data routing in a distributed network. Each node is a computer component with the ability to transmit and receive packets wirelessly. The difficult is to create a decentralized network when each component can communicate only with its neighbors.

The routing solution that I implement is the construction of sub-graphs linked by nodes called "Quorums" that will help in the routing of the packages.

(Backbones and Quorums)

The project ends with a demonstration of the algorithm by simulating events that come from an event journal that feeds events actions into the communications system.

In order to make measurements and comparisons with other networks, it is possible to run the simulation on all nodes of a particular network.

This mode is called "Test mode" and it allows you to check the ability of the system by sending packets from each node to each node.

The output of the simulation will help to improve the ability of the algorithm with statistics and data on the network information.

# **Final project Department of Software Engineering**

## **Simulation of message routing by intelligent agents for the use of traffic control**

**By**

**Raphael Mazouz**