

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:

אחראי תעשייתי: מר בן דב אישור: תאריך:

רכז הפרויקטים: ד"ר ראובן יגל אישור: תאריך:

מערכות ניהול הפרויקט:

#	מערכת	מיקום
1	מאגר קוד	https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents
2	יומן	http://projects.jce.ac.il/moodle/mod/wiki/view.php?id=679
3	ניהול פרויקט	https://github.com/raphym/Simulation_of_message_routing_by_intelligent_agents
4	הפצה	אין
5	סרטון אב טיפוס	https://drive.google.com/open?id=0B6kL3JIsYJUWpRRFhTaVVmNzg

תוכן העניינים

2	תוכן העניינים
3	תקציר
3	מילון מונחים
5	1. מבוא
6	2. תיאור הבעיה
7	3. תיאור הפתרון
7	תהליכים ונתוני המערכת
8	תיאור הפתרון המוצע
9	תיאור הכלים המשמשים לפתרון
9	4. תכנית בדיקות
10	5. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה
11	6. נספחים
11	א. רשימת ספרות
12	ב. תרשימים וטבלאות
14	ג. תכנון הפרויקט
15	ד. טבלת סיכונים
15	ה. טבלת דרישות

תקציר

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" (backbone) שיעזרו בניתוב של החבילות.
הפרויקט מסתיים בהדגמה של האלגוריתם על ידי סימולציה של התמודדות עם אירועים המגיעים מ"יומן אירועים" שמזין אירועים למערכת התקשורת.

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.

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 בין כל קבוצה של מחשבים. כל מכשיר יהיה צומת של הרשת.

Quorum-Based Location Service: קורום

שיטה של ניתוב מידע ברשת מבוצרת, 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, $E \subseteq V \times V$: כלומר: 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:

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

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 מבוססת שיוזגם 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 (RASPBERRY 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 ומאובטחת 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

לבן:

- הצומת חייב לדעת, לכל הפחות, את מיקומו ואת המיקום של השכנים הקרובים מסביבו.
- בהינתן צומת X שרוצה לשלוח הודעה לצומת Y כך ש $Y \cap X \neq \emptyset$ 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 בצורה מאובטחת ביניהם.
- קריאת נתונים מקבצי מקור לתוך הסימולציה על מנת לשלוף 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"

כל סוכן יפעל בכמה מצבים:

- כניסה והתחברות לרשת הקיימת
- זיהוי שכנים ברשת
- שליחת הודעות
- קבלת הודעות
- העברת הודעות משכנים שמסביב לכיוון תחנת הקצה

הרשת תדע להעביר חבילות אינפורמציה ממקום למקום, ללא תלות במרחק. כל צומת אן "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 בכיוון הכללי הנכון.

אנחנו החלטנו להשתמש בשיטה של *Quorum-Based Location Service*. בשלב האתחול, יש 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 אנו 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.

שיטת ה-: 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. ובצורה הזאת מיצרים תתי-גרף בגודל חמש צמתים בערך.

הצמתים ה"חשובים" הם צמתים שמשמשים חפיפות 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 בונים אלגוריתם של Traceroute שמאפשר לכל צומת חשוב (Backbone) להכיר ולדעת איך הוא יכול להעביר הודעה לצומת אחר בתוך תת-הגרף שלו (Quorum).

בנוסף אנחנו בונים אלגוריתם ניתוב בין כל צומת חשוב (Backbone) ובין כל צומת חשוב תדע מי הצומת החשוב שקרוב ממנו וגם איך להגיע אליו.

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.

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..

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++
- ספריית תקשורת TCP / IP – boost
- סביבת פיתוח VMware לפיתוח האלגוריתם שמדמה סביבת Linux

4. תכנית בדיקות

הרצת של כמה סוגי של בדיקות לפי הצורך, כמו בדיקות יחידה , בדיקות אינטגרציה בדיקות מערכת , בדיקות פונקציונליות בכל התחומים הבאים :

בדיקות על File stream

הרצת מספר בדיקות שונות על קריאת מידע מקובץ מקור חיצוני
למשל קריאה קובץ של עיר מסוים עם כל הנתונים שלה רמזורים בקרת רמזורים , מנורות כביש.

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.

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.

בדיקת האלגוריתם מרחק

אלגוריתם המרחק מדמה את מרחק קליטה WIFI , על ידי חישוב פיתגורס מיצרים קשתות בין האובייקטים (צמתים).

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.

בדיקת אלגוריתם של Traceroute

כל צומת חשוב (Backbone) צריך לדעת איך להגיע לכל הצמתים שנמצאים בתת-גרף שלו (Quorum).
הרצת בדיקת נכונות המסלולים.

בדיקת אלגוריתם ניתוב בין Backbones

כל צומת חשוב (backbone) צריך לדעת איך להגיע לצמתים החשובים (Backbones) שקרובים אליו.
הרצת בדיקת נכונות המסלולים

בדיקת בניית יומן אירועים

הרצת בדיקת על יצירת יומן אירועים מלאכותי

בדיקת נכונות של הסימולציה

הרצת יומן אירועים על מפה, שליחת הודעות מכל צומת לכל צומת אחר ובדיקת נכונות התוצאות.

5. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה

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.

6. נספחים

1. 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 Vukobratovic

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

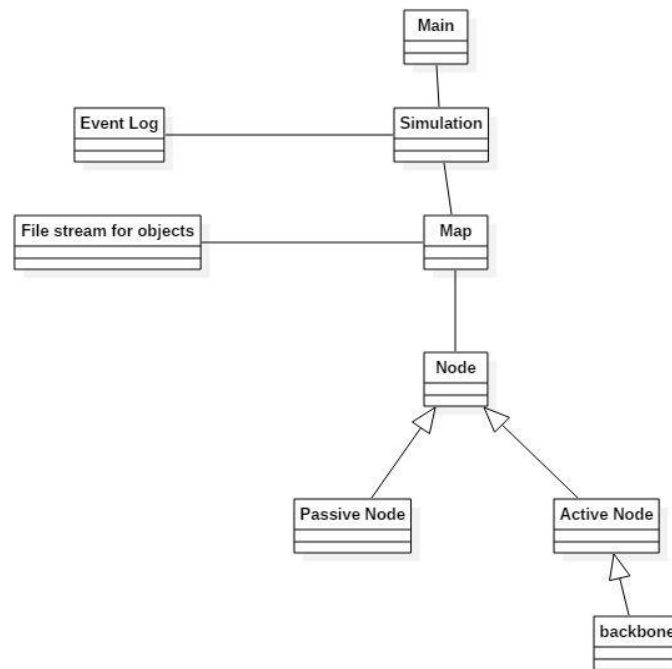
Quorum-based Location Service in Vehicular Sensor Networks
By Euisin Lee, Hyunsoo Choe, Pragadheeshwaran Thirumurthi, Mario Gerla, and Sang-Ha Kim

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

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

2. תרשימים וטבלאות

Class diagram



Event Log: קובץ שתכיל רשימת אירועים.

Main: נקודה התחלה של התוכנה, מאתחל את הסימולציה

Simulation: מחלקה שתקרא מהיומן (Event Log) ותריץ 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.

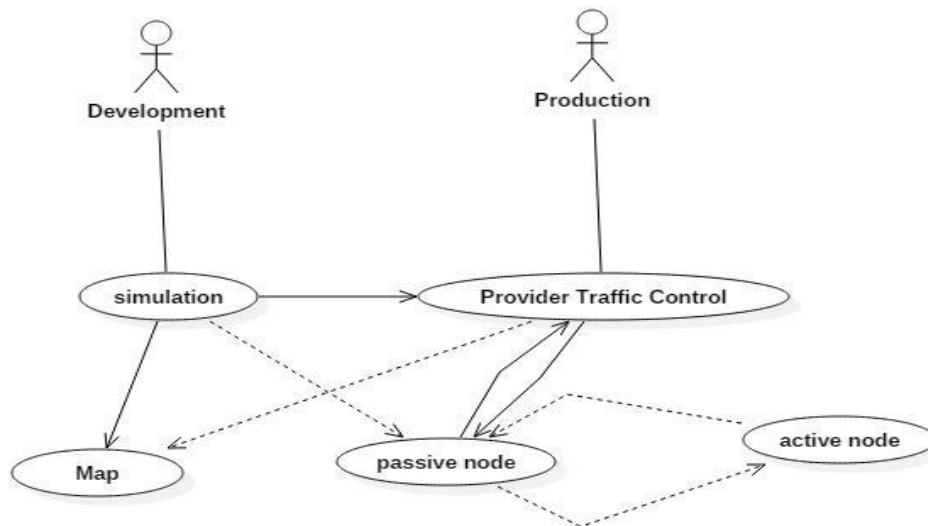
Node: הוא צומת של הרשת, הוא יכול להיות רמזור, תאורה, ספק.

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

3. תכנון הפרויקט

חשיבה על בנייה המוצר , פתרונות אפשריים	09/11/16
לימוד , חזרה על שפת C וC++	15/11/16
בניית סביבת הסימולציה	29/11/16
בניית העיר , מפה , רמזורים , מנורות	07/12/16
בניית ממשקים לשליפת נתונים מקבצי חיצונים לתוך המפה של העיר	15/12/16
הכנה אב טיפוס	12/02/17
כתיבה של אלגוריתם ניתוב סופי	13/04/17
אבטחת מידע העובר ברשת	10/05/17
בניית ממשקים ליצירה ולשליפה של יומן אירועים לצרכי סימולציה	21/05/17
בניית יומן אירועים	15/06/17

4. טבלת סיכונים

#	הסיכון	חומרה	מענה אפשרי
1	אי עמידה בלוח זמנים ובמועד הסיום הסופי	3	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 Quorums ובניית מסלולים בתוך ה Quorum לא מתפקד	3	שינוי של צורת החישוב מסלולים

5. רשימת טבלת דרישות

טבלת דרישות (User Requirement Document)

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