

# **בטיחות רשתות**

פרויקט סוף

2024, סמסטר א'

“Congestion and Position Aware Dynamic Routing for  
the Internet of Vehicles”

Ruiyan Han , Quansheng Guan , F. Richard Yu, Jinglun Shi, and Fei Ji

## תוכן עניינים

1. תקציר.....	4
2. הקדמה.....	5
2.1 תיאור כללי של הבעיה.....	5
2.1.1 ייחודיות ה-IoV.....	5
2.1.2 בעיות בעבודות קודמות.....	5
2.2 תוצאות עיקריות.....	5
2.2.1 תוצאות מרכזיות.....	5
2.2.2 חידוש ביחס לעבודות קודמות.....	6
2.2.3 קשיים שהמאמר מתמודד איתם על מנת לפתור את הבעיה לעומת עבודות קודמות.....	7
2.3 עבודות נוספות בתחום.....	7
3. מודל המערכת וניסוח הבעיה.....	8
3.1 מודל המערכת.....	8
3.1.1 ארכיטקטורת הרשת.....	8
3.1.2 מודל השרת.....	8
3.1.1 מודל ה-Queue.....	8
3.2 הנחות במאמר.....	8
3.2.1 הבדלים בהנחות ביחס לעבודות קודמות.....	9
3.3 ניסוח הבעיה.....	9
3.4 הבדלים בין הנחות הסימולטור לבין הנחות המודל במאמר.....	9
4. פתרונות לבעיה.....	10
4.1 אלגוריתם מוצע לפתרון הבעיה.....	10
4.1.1 חלקי האלגוריתם.....	10
4.1.1.1 Queue Scheduling.....	10
4.1.1.2 Link Scheduling.....	10
4.1.1.3 Routing Decision.....	10
4.1.2 מימוש האלגוריתם בתוך רשת Vehicles.....	11
4.1.2.1 גילוי Multi-Hop IGW.....	11
4.1.2.2 חילוף מידע על מיקום ועומב שכנים.....	11
4.1.2.3 ניהול SRV מבוסס על מקום גאוגרפי.....	11
4.2 ניתוח ביצועים.....	11

11.....	4.2.1 השפעת ערך w1 על הביצועים.....
11.....	4.2.2 השפעת מספר Vehicles.....
12.....	4.2.3 השפעת מספר IGWs.....
12.....	4.2.4 השפעת קצב חיבור של HTTP.....
13.....	5. תוצאות סימולציה.....
13.....	5.1 מימוש הסימולציה.....
13.....	5.2 דיווח תוצאות הסימולציה, דיון על התוצאות, והצגת גרפים.....
13.....	5.2.1 העברת פאקטות מהרכבים לIGW.....
16.....	5.2.2 העברת פאקטות מהIGW לרכבים.....
19.....	5.3 השוואה בין תוצאות המאמר לבין המימוש בסימולציה.....
19.....	5.4 דרך להרצת קוד הסימולציה.....
20.....	6. מסקנות וביקורת על המאמר.....
20.....	6.1 מסקנות מהמאמר.....
20.....	6.2 ביקורת על המאמר.....
20.....	6.2.1 נקודות חלשות במאמר.....
20.....	6.2.2 נקודות חזקות במאמר.....
21.....	6.2.3 כיווני מחקר עתידיים.....
22.....	7. נספחים.....
27.....	8. סימוכין.....

## 1. תקציר

קיימים קשיים בניתוב multi-hop. זה קורה עקב שילוב בין מעבר חבילות, בחירת Internet Gateway (IGW), וניידות מכשירים בתוך ה-Internet of Vehicles (IoV), עקב התכונות הייחודיות של IoV. בתוך IoV, כל התעבורה מתכנסת ב-IGW, לכן IGWים ומכשירים שקרובים אליהם הם בעלי הסיכוי הכי גבוה להיות עמוסים. דרך ה-IGWים, ניתן להתחבר לאינטרנט.

בבחירת IGW, ניתן לשלוט על בחירת רשת פרטית שישמש כ-IGW עבור הרשתות, שרתים, ומכשירים שלנו. IoV הינו רשת של מכשירים שיש בהם סנסורים, תוכנה, וטכנולוגיה שמתווכת ביניהם עם המטרה של חיבור ושיתוף מידע באינטרנט לפי סטנדרטים מוסכמים. זה משלב בין Internet of Things (IoT) ו vehicle ad hoc networks (VANETs). IoT אלו מכשירים עם התכונות שתוארו עבורו IoV. VANET הינו יצירה ספונטנית של רשת אלחוטית של vehicles ניידים למרחב ה-vehicles. זהו קבוצת רכיבים שמחוברים דרך רשת אלחוטית.

במאמר מוצע distance-weighted back-pressure dynamic routing (DBDR). זהו ניתוב שמודע לעומס ומיקום ה-vehicles ברשת. זה מתעדף את המכשירים שקרובים ליעד, ושיש להם צבירה גדולה ב-buffer. בנוסף, זה מעוצב יחד עם גילוי multi-hop IGW וניהול ניידות מכשירים בכדי ליישם שידור וקליטת העברות לשירותי האינטרנט. זה הופך את BP (back pressure) למודע מיקום, וזה חשוב למניעת מלכודת לופים.

תוך שימוש ב-Lyapunov drift theory, מוכיחים ש-DBDR משיג יציבות לרשת ב-buffer queues ובקיבול הרשת.

בסימולציות, מוכח ש-DBDR יותר טוב מפרוטוקולים אחרים שקיימים, במובן של throughput, יחס של חבילות שנמסרות, ביחס המוצלח של HTTP בקשות ותשובות, ובזמן עיכוב ממוצע של חבילה כאשר הרשת עמוסה.

כיוון שהרשת שלנו אינה דינאמית אלא סטטית, המימוש שלנו של המאמר הינו שונה. הוספנו לסימולטור שנבנה בחלק הקודם יכולת להעברת פאקטות בין צמתים לפי משתמש. יצרנו משקלים ללינקים לכל משתמש על פי משקלי המאמר. לאחר מכן, סיננו בכדי לקבל את משקלים הגבוהים כדי לקבל את המסלולים להעברת פאקטות בין הלינקים, תוך התחשבות בעומס ה-nodes ומרחק מינימלי ליעד, ולהימנע מכפילויות בהעברת הפאקטות.

חלוקת עבודה בקבוצה:

- חלק א', שאלות 1-4 – רז זוהר וגולן הרץ
- חלק א', שאלה 5 וחלק ב' (המאמר) – נמרוד ארקוסין ואסתר מרגוליס
- חלק א', שאלות 6-7 – נועם פרץ

## 2. הקדמה

### 2.1 תיאור כללי של הבעיה

הבעיה עיקרית שמטפלים בה במאמר הינה עומס בניתוב multi-hop בתוך  $\text{IoV}$ . לא ניתן להשתמש בשיטות ניתוב רגילות עקב ייחודיות ה $\text{IoV}$ .

#### 2.1.1 ייחודיות ה $\text{IoV}$

בתוך ה $\text{IoV}$ , ה $\text{vehicles}$  נעים בקצב מהיר. זה יוצר שינויים דינאמיים בטופולוגיית הרשת, ומפריע למסלול העברה בין  $\text{vehicle}$  ו $\text{IGW}$ . לכן אין מסלול קבוע עבור תנועה באינטרנט. מתוך כך, אין דרך לשחזר את המסלול לשולח המקורי. ה $\text{IGW}$  הינו גשר בין האינטרנט לבין ה $\text{vehicles}$ , לכן רוב התנועה תתכנס אליהם. בדומה, עבור  $\text{vehicles}$  שקרובים ל $\text{IGW}$ ים, הם ישומשו כבור העברת חבילות באינטרנט. מתוך כך ניתן להסיק כי ה $\text{vehicles}$  האלו וה $\text{IGW}$ ים יהיו מאד עמוסים. נקבל הרבה התנגשויות במעבר חבילות ויהיה גלישה מעבר ל $\text{buffer}$ . בבחירת מסלול עבור מעבר מידע, יש צורך להחליט על  $\text{IGW}$  עבור התעבורה וגם  $\text{next-hop relay}$ .

#### 2.1.2 בעיות בעבודות קודמות

בעבודות קודמות, השתמשו במיקומים של ה $\text{vehicles}$  כדי להרחיב את פרוטוקלי הניתוב מ $\text{MANET}$  ל $\text{VANET}$  [16]-[20].  $\text{MANET}$  הינו קבוצת צמתים שהם ראטרים וגם  $\text{hosts}$ , בתוך רשת  $\text{ad hoc}$  ( $\text{LAN}$ ) זמני) אלחוטי. הצמתים מתארגנים בצורה דינאמית בתוך הרשת האלחוטית בלי תשתית מבוססת מראש.

ניתוב  $\text{back-pressure (BP)}$  הינו אלגוריתם ניתוב דינאמי על רשת  $\text{multi-hop}$  שמשתמש ב $\text{congestion gradient}$ . עבור ניתוב עם זה, השתמשו ב $\text{differential backlog}$  בין צמתים שכנים עבור  $\text{congestion gradient}$  כדי להשיג  $\text{throughput}$  אופטימלי ב $\text{MANET}$  [24]-[25]. הבעיה ב $\text{BP}$  הינו הסיכוי להיכנס למלכודת לופ, ובתמורה נקבל  $\text{delay}$  ארוך יותר.

היו עבודות שניסו להתמודד עם בעיית הניתוב, בחירת המסלול, ובחירת ה $\text{IGW}$  בעזרת  $\text{software defined network (SDN)}$  [33]-[34]. ב $\text{SDN}$  יש תיאום מרוכז, וזה יוצר הרבה תנועה בין ה $\text{vehicles/IGW}$  לבין הבקר של ה $\text{SDN}$ . ספציפית עבור  $\text{IoV}$ , הריכוז המרכזי עלול להיות הצוואר בקבוק שלו עקב השינויים המהירים של הרשת.

בעבודה הקודמת של כותבי המאמר [36] הם הראו שידיעת המרחק בין המקור ליעד יכול לשפר את ה $\text{delay}$  עבור ניתוב  $\text{BP}$  של  $\text{MANET}$ .

## 2.2 תוצאות עיקריות

### 2.2.1 תוצאות מרכזיות

לאחר סימולציות שבוצעו, ראו ש-DBDR יותר טוב מפרוטוקולים אחרים שקיימים, במובן של throughput, יחס של חבילות שנמסרות, ביחס המוצלח של HTTP בקשות ותשובות, ובזמן עיכוב ממוצע של חבילה כאשר הרשת עמוסה.

עבור יחס של פאקטות שהגיעו ליעד בהצלחה ביחס למספר הפאקטות שנשלחו סך הכל (PDR), ה-PDR של DBDR גדול יותר מ-BP, DSDV (מתחשבת רק במרחק של hop), ו-GPSR (שמשמשת ב-greedy forwarding, משתמשים רק במרחק מהיעד). זה מעיד על אמינות ויציבות של הניתוב. ככל שמספר ה-vehicles עולה, ה-PDR של שאר הפרוטוקולי הניתוב יורד משמעותית יותר מהר ביחס ל-DBDR.

DBDR נותן את ה-throughput הכי גדול. זהו כמות המידע המועבר ביחידת זמן בתוך הרשת. ככל שמספר ה-vehicles עולה ברשת, יש ירידה פחות משמעותית ב-throughput של DBDR ביחס לרוב הפרוטוקולים (חלקם הם דומים לו).

עוד ממד לבדיקת ביצועי הרשת הינו אחוזי הצלחה של בקשות ותשובות של HTTP. זה קשור לאיכות השימוש של משתמשי האינטרנט. DBDR מצליח לקבל את האחוזי הצלחה הכי גבוהים עבור כל מספר של vehicles שנמדדו.

כאשר יש ברשת מעט IGW, ה-DBDR מצליח להשיג average packet delay (APD) נמוך יותר מהפרוטוקולים האחרים. APD הינו עיכוב end-to-end ממוצע עבור פאקטות שמגיעות בהצלחה ליעד.

## 2.2.2 חידוש ביחס לעבודות קודמות

BP רגיל, המידע יישלח מתישהו, אך לא בהכרח בצורה מהירה. מתחשבים אך ורק ב-backlog differentials בין צמתים שכנים, ולא מודעים למיקום של היעד. בכך, עלולים להיווצר מסלולים ארוכים בדרך ליעד, וכתוצאה נוצר עיכוב end-to-end גדול.

במודל כאן, עם שימוש ב-DBDR, תוך שימוש במשקל תלוי מרחק עבור backlog differential, קיימת הבחנה בין ה-next-hops עם מרחקים שונים מהיעד. התור עם backlog differential הממושקל המקסימלי מתוזמן להעברה. ניתן גם לשחק עם המשקלים, ובכך למצוא איזון בין congestion avoidance לבין greedy forwarding.

כיוון שהמרחק ליעד קטן עבור צמתים שצמודים ליעדים (IGW), הם יהיו עמוסים, אך עם האלגוריתם הזה, הם לא ייבחרו כnext-hop כיוון שידוע שהם עמוסים עקב הקרבה ליעד.

עבור DBDR, כל מה שדרוש כדי לבחור את ה-next-hop הינו מידע שכן, שזה כולל עומס ב-queues ומיקום השכנים. זה מוריד משמעותית את תנועת הסיגנלים ביחס לפרוטוקולי ניתוב אחרים. בפרוטוקולים האחרים, יש צורך לחפש ולשמור את מסלולי ה-multi-hop בתוך VANET שמשתנה לעיתים קרובות. אין ל-DBDR צורך לשמור טופולוגיה גלובאלית של הרשת.

בפרוטוקולים האחרים, יש שימוש או במרחק מהיעד או במרחק בין hop או back pressure, אך כאן יש שילוב של כל הדברים יחד, שמאפשר לנו לקבל תוצאות יותר טובות.

### 2.2.3 קשיים שהמאמר מתמודד איתם על מנת לפתור את הבעיה לעומת עבודות קודמות

אחת הבעיות בעבודות קודמות הינו כניסה למלכודת loop (עבור BP). בדרך ליעד מסוים, המסלול נכנס לloop בין צמתים, וזה יגרור אי הגעה של פאקטה ליעד. זה עלול לקרות עקב כך שלא מתחשבים במרחקים ליעדים, אלא רק בעומס של הצומת. בכך נוכל לעבור בין הרבה צמתים לא עמוסים בלי להתקרב ליעד. בDBDR, יש התחשבות במרחק מהיעד יחד עם עומס של צומת, ובכך מונע כניסה לloop.

עוד בעיה שהייתה בעבודות קודמות הינו שימוש בgreedy forwarding. עבור next-hop, בוחרים את הצומת עם ההתקדמות הכי גדולה לכיוון היעד. זה עלול ליצור עומס בצמתים שקרובים לIGW (hot-spot). כמו שצוין קודם, בDBDR, השימוש בידיעת מרחק מהיעד יחד עם התחשבות בעומס הצמתים פותרת את הבעיה של יצירת hot-spot.

בעבודות קודמות, החזיקו במידע גלובלי על הרשת כולה בכל צומת. בIoV ישנם הרבה שינויים ברשת, בתדירות גבוהה יחסית. זה יוצר הרבה עומס בתנועה של אותות (בשביל עדכונים על שינויי רשת). בDBDR, כל צומת מחזיק רק את המידע על שכנים שלו, ובכך ממעיט את עומס תנועה זו.

### 2.3 עבודות נוספות בתחום

יש הרבה עבודות שמתעסקות בקשיים של טופולוגיה דינאמית, עומס ברשת, ובחירת IGW בIoV. הרבה מהעבודות הציעו להשתמש במסלול יציב שמשתמש בלינקים עם זמן חיים ארוך. זה עוזר להתמודד עם בעיה של ניתובים מחדש מרובים [8], [10], [11], [39], [40].

מיקומים גאוגרפיים שומשו בניתוב כדי לגלות בדרך מדויקת הזדמנויות מעבר של vehicles [18], [19], [42]. כמו כן, הראו ב[12] שניתוב מבוסס מיקום יותר מתאים עבור VANET. ב[7] ו[9] השתמשו בgreedy forwarding (משתמש במידע לוקאלי כדי לקדם את המידע ליעד). בוחרים next-hop את מה שמתקדם הכי הרבה לכיוון היעד. זה יכול להוריד את מספר hops, אבל vehicles שקרובים לIGW עלולים להיבחר על ידי הרבה vehicles אחרים. אנו עלולים לאבד חבילות בגלל מילוי של queue, וזה בתמורה יוריד את throughput של הרשת. מזה אנו לומדים שאורך queue הינו מדד קריטי לעומס, וחשוב לבחירת next-hop כדי למנוע נקודות חמות בvehicles שקרובים לIGW.

### 3. מודל המערכת וניסוח הבעיה

#### 3.1 מודל המערכת

##### 3.1.1 ארכיטקטורת הרשת

המאמר מתבסס על IoV שמשלבת בתוכו VANET וגם אינטרנט. בתוך IoV יש vehicles שזזים ופרוסים בצורה אקראית במרחב. יש בו גם RSU קבועים. אלו Roadside Units שמשמשים כ-IGW. יש להם ממשקים חוטיים ואלחוטיים, כדי להתחבר לאינטרנט ולרשת ה-vehicles. זה מחבר בין VANET לבין האינטרנט. עובדים תחת ההנחה שכל vehicle יודע את המיקום שלו, לדוגמא בעזרת GPS. מניחים שעבור בניית ה-VANET, ה-RSU וה-vehicles יכולים ליצור לינקים בינם לבין עצמם. ה-vehicles יוצרים VANET, שזה רשת אוטונומית בתוך האינטרנט.

יש תמיכה דו כיוונית בין האינטרנט לבין ה-vehicles. עבור תקשורת לאינטרנט, vehicles חייבים להתחבר ל-IGW, ואחר כך ה-IGW יתחברו לאינטרנט. ההגעה ל-IGW בתוך ה-VANET יתבצע בדרך שנדבר עליו בהמשך. עבור הקשר בכיוון השני יש שימוש ב-MIP (mobile IP).

##### 3.1.2 מודל הרשת

ברשת קיימים  $N$  צמתים ו- $I$  צמתי IGW.  $\mu(t) = (\mu_{ab}(t))$  זהו מטריצת קצבי שידור על לינק שמחבר בין צומת  $a$  לצומת  $b$  בזמן  $t$ . אם  $\mu_{ab}(t) = 0$  אז אין לינק בין  $a$  ל- $b$ . הקצבים נקבעים מתוך רשימה של ערכים אפשריים. סכום הקצבים במטריצה חייבים להיות אפשריים לשידור במקביל.

##### 3.1.3 מודל ה-Queue

פאקטות שמועברות ברשת מחולקות לפי יעדן. ב- $buffer$  של כל צומת יש חלוקה לתורים שונים. כל תור מכיל את הפאקטות עבור יעד מסוים. נסמן  $D_i^{(c)}$  בתור המרחק האוקלידי בין צומת  $i$  לבין צומת היעד  $c$ . נסמן  $U_i^{(c)}(t)$  זה כמות הפאקטות שעוד לא שודרו בצומת  $i$  שמועדות עבור צומת  $c$ . ערך זה אפס אם היעד זה הצומת עצמה, כי הפאקטות יגיעו ישירות מכאן לשכבת התעבורה. כל צומת מחזיק עד  $N$  תורות עבור קליטה ועד  $I$  עבור שידור.

#### 3.2 הנחות במאמר

לגבי הפרמטרים שכבר דיברנו עליהם, יש הנחה שהמרחק האוקלידי מוגבל עד לערך מסוים, וכמו שציינו קודם, יש הגבלה על הקצבים. מניחים שקיים תור שמתחיל ומסתיים באותו צומת, רק שערכי  $U$  ו- $D$  שלו הם 0.

מניחים השתנות מהירה של מבנה הרשת. על זה מתבססת הטענה שאי אפשר להשתמש כאן במסלולים קבועים למעבר מידע. כמו כן, כפי שצוין בחלק על ארכיטקטורת הרשת, שכל vehicle יודע את המיקום שלו, ושה-RSU וה-vehicles יכולים ליצור לינקים בינם לבין עצמם.



### 3.2.1 הבדלים בהנחות ביחס לעבודות קודמות

ההבדל העיקרי בהנחות זה שאי אפשר לקבוע מסלול העברה לפני תחילת העברת המידע ושזה יישאר קבוע לאורך ההעברה. הרשת כאן משתנה מהר מידי, ולכן זה לא אפשרי.

עוד הנחה חשובה זה שאנחנו יודעים את המרחק בין ה-relay הנוכחי לבין היעד, כדי למזער זמני העברה. כל צומת מכיר את מיקומו ואת מרחקו מהיעד, ולפי זה קובע את ה-next-hop לכיוון היעד (תוך התחשבות בעומסים על הצמתים השונים).

### 3.3 ניסוח הבעיה

עבור רשת כמו IoV עם VANET, יש השתנות מהירה של הרשת ומיקומי הצמתים/vehicles שנמצאים בה. זה יוצר בעיה בשימוש באלגוריתם שבוחר מסלולים קבועים שאינם דינאמיים. באמצע העברה, צמתים בדרך של המסלול עלולים לזוז או להיעלם לגמרי. אם נישאר עם מסלולים קבועים, נאבד מידע.

כמו כן, יש רצון לבחור next hop את הצומת שהכי קרוב ליעד, ל-IGW הרלוונטי. זה יוצר עומס אצל הצמתים שקרובים ל-IGW, והם נהיים נקודות חמות. מכך אנו עלולים לאבד פאקטות עקב העומס ומילוי התור. throughput עלול להיפגע פה משמעותית.

כפי שצינו בסקירה על עבודות קודמות, יש דרישה לאלגוריתם שידע להתמודד עם שתי הבעיות הללו, ועד כה התמודדו רק עם אחד מהם בכל פעם.

### 3.4 הבדלים בין הנחות הסימולטור לבין הנחות המודל במאמר

במימוש בסימולטור אצלנו, השתמשנו ב-IGW בודד. הרכבים ברשת שלנו אינם זזים, כלומר הרשת סטטית ולא דינאמית.

האופציות להעברות הינו מה-IGW לשאר הצמתים או משאר הצמתים ל-IGW. אין העברה מרכב לרכב אחר, כלומר הרכבים שהם לא ה-IGW אינם יעדים סופיים כאשר רכב שהוא לא ה-IGW שולח פאקטות.

כמות הפאקטות נבחרות בהתחלה, והכמות קבועה עבור כל אחת מהצמתים, ואין פאקטות נוספות שמתווספות ככל שעובר זמן.

## 4. פתרונות לבעיה

### 4.1 אלגוריתם מוצע לפתרון הבעיה

האלגוריתם שמוצע במאמר הינו DBDR – Distance-Weighted Back-Pressure Dynamic Routing. האלגוריתם מורכב משלושה חלקים: תזמון תור, תזמון הלינקים, והחלטת מסלול.

#### 4.1.1 חלקי האלגוריתם

##### Queue Scheduling 4.1.1.1

פאקטות שמיועדות ליעדים שונים נמצאים בתורים שונים. כאשר תור נבחר, הפאקטה בראש התור משודר. לתזמן תור זה שקול לבחירת יעד.

באלגוריתם הקלאסי, יש בחירה לשידור לפי התור עם הbacklog differential הכי גדול. המידע ישודר מתישהו רק לא בהכרח בצורה מהירה. צמתי היעד הם לא עמוסים כי הם האחרונים בשרשרת. הבעיה היא שהם לא מודעים למיקומים של היעדים. באלגוריתם המוצע, משתמשים בbacklog differential עם משקלים שתלויים במרחקים:  $WQ_{ab}^{(c)}(t) = w_1 U_a^{(c)}(t) - w_2 \frac{D_b^{(c)}(t)}{D_a^{(c)}(t)} U_b^{(c)}(t)$ ,  $w_1 + w_2 = 1$ .  $D_b^{(c)}(t)$  זה המרחק בין ה-next hop האפשרי b והיעד c בזמן t, ו- $D_a^{(c)}(t)$  זה המרחק בין השולח a לc בזמן t. כאשר b קרוב ליעד c, היחס של המרחקים יהיה גדול, וייתן  $WQ_{ab}^{(c)}(t)$  גדול. לאחר מכן, התור שמתוזמן להעברה זה התור עם  $WQ_{ab}^{(c)}(t)$  הערך הגדול. backlog differential המקסימלי. החישוב הזה שונה עבור העברה בשידור ובקליטה.

עבור שידור, היעד הינו IGW בתוך IoV. יכולים להיות כמה IGWים אפשריים, לכן נבחר את היעד כדי למנוע עומס ולהוריד עיכובים. לכן היעד צריך להיות בקבוצת ה-I. עבור קליטה, כאשר רוצים לחזור למקור, ה-SRVים (source request vehicle) הם היעד, וזה בתוך קבוצת ה-N.

##### Link Scheduling 4.1.1.2

בDBDR, מתזמנים שידור על לינקים, ובחרים את הצומת הבא שיעביר מידע תוך מקסום throughput, תוך שימוש ב- $WQ_{ab}^{(c)}(t)$  כמשקל. קובעים את קצבי השידור  $\mu(t)$  עבור לינקים עם הקריטריון הבא:  $\max_{\mu(t)} \sum_{ab} WQ_{ab}^{(c)}(t) \mu_{ab}(t)$ . תוך שימוש בנוסחה זו, לינק עם משקל גבוה (מרחק הכי קרוב) וקיבול גדול יתוזמן להיות אקטיביים ולינקים אחרים בתחום הפרעה שלו לא ישדרו.

עבור צמתים שקרובים ליעד, יש חשש שהם יהיו יותר עמוסים. זה ייתן להם יחס מרחקים קטן, לכן המשקל שלהם יהיה קטן יותר, לכן לא נשדר אליהם ישר וניתן להם זמן להתפנות. הפאקטה תמשיך להתקדם לקראת היעד בhopים שמבצע, בעזרת הנוסחאות שהצגנו.

##### Routing Decision 4.1.1.3

DBDR מקצה קצב שידור של  $\mu_{ab}(t)$  עבור הלינק והתור שמתוזמנים. כדי למנוע מצב שחבילות ייתקעו הרבה זמן, יש זמן carry. אם לא מעבירים את החבילה עד סוף זמן זה, היא תיזרק.

באופן כללי, DBDR קובע את ה-next-hop לפי מידע משכניו, שזה כולל עומס בתורים שלהם ומיקומים שלהם. אין צורך לשמור מידע על כל הרשת כמו בפרוטוקולים האחרים לקביעת מסלולים.

#### 4.1.2 מימוש האלגוריתם בתוך רשת vehicles

כדי שנוכל לממש את האלגוריתם בתוך הרשת, צריך לדעת מהם ה-IGWים הפנויים, מיקומים ועומס בתורים של השכנים ושל ה-IGWים, ושליטה על SRVים שזזים.

##### 4.1.2.1 גילוי Multi-Hop IGW

יש שימוש ב agent advertisements כדי לעדכן על קיום ה-IGWים, שנותנים גישה לאינטרנט. התחום תקשורת שלהם זה בדרך כלל מוגבל לhop בודד, אך כאן מעלים את ה-Time to Live של ה-IP, כדי להרחיב את תחום התקשורת ל-IGW. יש כאן שידור מידע על ה-IGWים, ומידע זה שמור עם זמן. כל פעם שמתקבלת עוד עדכון, מעדכנים בטבלת ה-IGW של כל vehicle. האלגוריתם לעדכון נמצא כנספח {1}.

##### 4.1.2.2 חילוף מידע על מיקום ועומס שכנים

מידע על מיקום ועומס בתורים (backlog) של השכנים דרוש לחישוב של ה-weighted backlog differential. כל vehicle משדר באופן מחזורי את מיקומו הגאוגרפי ואת התורים שיש אצלו. הרכיבים ברשת משתמשים במידע זה מהשכנים שהם במרחק hop אחד מהם.

מכניסים את כל המידע על השכן לטבלה. לכל שורה בטבלה, יש זמן חיים. ייתכן מצב שחלק מהשכנים יזוזו מהמרחק תקשורת שלהם בתוך זמן החיים. במקרה כזה, DBDR ישתמש בשכנים לא טובים, וזה יגרור כישלון בהעברת מידע. כדי להתגבר על זה, ניתן לשכבת ה-MAC לעדכן על כישלון בהעברה לצומת אחרת, ונמחק את השורה שלו מהטבלה.

##### 4.1.2.3 ניהול SRV מבוסס על מקום גאוגרפי

DBDR צריך את המיקום המדויק של SRV כדי להחזיר לו תשובות מהאינטרנט. ייתכן שבזמן הזה, ה-SRV זו כבר להיות תחת שליטה של IGW אחר. ה-vehicles מעדכנים את ה-IGW שלהם עם מיקומם. בכך, ה-IGW מתפקד כמנהל איתור מיקומים לוקאלי. בכך יודעים לאן להעביר את התשובה חזרה ל-vehicle ששלח את הודעה בהתחלה, וזה נעשה גם בעזרת האלגוריתם של DBDR.

#### 4.2 ניתוח ביצועים

בשלב זה יש השוואה של ביצועים של DBDR מול BP שמוצג ב[24], DSDV [15] ו-GPSR [20]. את הניתוח נעשה בעזרת הפרמטרים הבאים: PDR (יחס בין חבילות שהגיעו בהצלחה לסך החבילות שנשלחו), APD (זמן ממוצע כולל לחבילה שהתקבלה בהצלחה ביעד), throughput (כמות מידע אפקטיבי שמשודר בתוך יחידת זמן ברשת) ושיעור הצלחה של בקשות ותשובות HTTP.

##### 4.2.1 השפעת ערך w1 על הביצועים

עבור ערך w1 קטן, המרחק זה הפקטור העיקרי שמשפיע על ביצועי הרשת. לכן צמתים שקרובים ל-IGW ייבחרו על ידי הרבה צמתים אחרים להיות next-hop שלהם. זה ייצור עומס ברשת.

עבור ערך w1 גדול יותר, הפקטור העיקרי זה התור (backlog). זה עלול ליצור ברשת loop trap. לכן נגיע throughput מקסימלי כאשר w1 בין 0.3 ל-0.6. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {2}.

##### 4.2.2 השפעת מספר Vehicles

כאשר יש יותר vehicles ברשת, העומס לאינטרנט יעלה גם. עבור כל מספר ה-vehicles, ה-DBDR יהיה עם PDR הכי גבוה. ככל שמספר ה-vehicles גדל, יש פחות איבודי חבילות כיוון שיש פחות עומס על כל vehicle. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {3}.

עבור מספר גדול של vehicles, ה-DBDR יצא עם APD הכי נמוך. עבור מעט vehicles, ה-APD של DSDV היה יותר קטן, כיוון שהוא זורק יותר חבילות כאשר אין מסלול פנוי להעברה. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {4}.

האלגוריתם של DBDR מצליח להשיג את throughput הכי גדול עבור כל מספר vehicles ברשת. התקבלה תוצאה דומה עבור HTTP Response/Request. ניתן לראות התוצאות של זה בגרף בנספחים {5}-{6}.

### 4.2.3 השפעת מספר IGWs

עבור מעט IGWs ברשת, ה-DBDR הכי טוב. ה-GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) מתקרב אליו בתוצאות אבל כל השאר לא מתקרבים. עבור מצב כזה, יש יותר איבודי חבילות בכל השיטות ו-PDR נמוך. עקב מספר קטן של IGWs, יש כיסוי יותר קטן של ה-vehicles ברשת, וזה גורר APD יותר גדול כי יותר חבילות לא מועברות כי אין next hop. גם עבור הרבה IGWs, ה-DBDR הכי טוב.

בכל אחד מהמקרים, ה-APD של DBDR הכי נמוך. כמן כן, יש לו את throughput הכי גבוה עם ה-PDR הכי גדול וה-APD הכי נמוך, ו-HTTP הכי מוצלח עבור בקשות ותשובות. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספחים {7}-{10}.

### 4.2.4 השפעת קצב חיבור של HTTP

קצב חיבור של HTTP קובע את העומס ברשת עבור מספר קבוע של vehicles. באופן כללי, PDR יורד עבור העלאת קצב HTTP, ו-DBDR מצליח להציג PDR גבוה יותר משאר הפרוטוקולים שבדקו. כיוון שהקיבול ברשת מוגבל, העלאת קצב HTTP יכניס יותר עומס לרשת, ויגרור איבוד של יותר פאקטות. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {11}.

העברה במסלול הכי קצר יוביל ל-APD הכי נמוך, אבל העומס במסלול הזה יגרור יותר queueing ועיכובים, וזה בסוף יגרור APD גבוה. עם כל זה, ה-DBDR עם ה-APD הכי נמוך. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {12}.

כיוון ש-DBDR מצליח לקבל PDR גבוה ו-APD נמוך, הוא מצליח לקבל את throughput הכי גבוה, כאשר קצב ה-HTTP עולה. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {13}.

קצב ההצלחה של בקשות/תשובות HTTP תמיד גבוה יותר ב-DBDR ביחס לשאר הפרוטוקולים. ניתן לראות את התוצאות של זה בגרף בנספח {14}.

## 5. תוצאות סימולציה

### 5.1 מימוש הסימולציה

הרשת שלנו היא לא רשת שמשתנה, לכן התוצאות יהיו שונות ביחס לסימולציות שבוצעו במאמר (רשת סטטית לעומת דינאמית). בנוסף, לכל אחד מהלינקים ברשת שלנו, יש את אותו הקיבול.

הוספנו לסימולטור שנבנה בחלק הקודם יכולת להעברת פאקטות בין צמתים לפי משתמש. זה מתבצע לפי מקור ויעד. אנו קובעים מראש שכל צומת תשלח 100 פאקטות ל-IGW ורואים איך העומס מתחלק ברשת. לחילופין, אנו קובעים שה-IGW ישלח 100 פאקטות לשאר הצמתים, ונראה איך הרשת מחלקת את שליחת הפאקטות בין הצמתים. ניתן לבצע העברה דו כיוונית בו זמנית, אך זה לא נראה טוב בגרפים.

יצרנו משקלים ללינקים לכל משתמש על פי משקלי המאמר. המשקלים שהשתמשנו בהם זה  $WQ_{ab}^{(c)}(t)$ . שינינו את יחס המרחקים, כך: ב- $WQ_{ab}^{(c)} = \max(w1 * Ua * (Da / Db) - w2 * Ub, 0)$ . ביצענו את השינוי כיוון  $w1 \cdot Ua$  קבועים בהתחלה, ואם היינו מגדירים בדיוק כמו במאמר, כל הפאקטות היו נשלחות לאותו לינק ולא היו מתפזרים. עשינו מקסימום עם 0 כיוון שהלינקים דו כיווניים, לכן אנו עלולים לקבל ערכים שליליים.

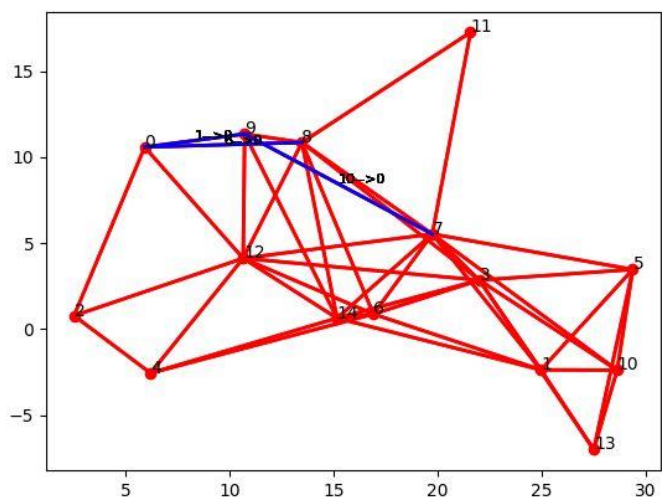
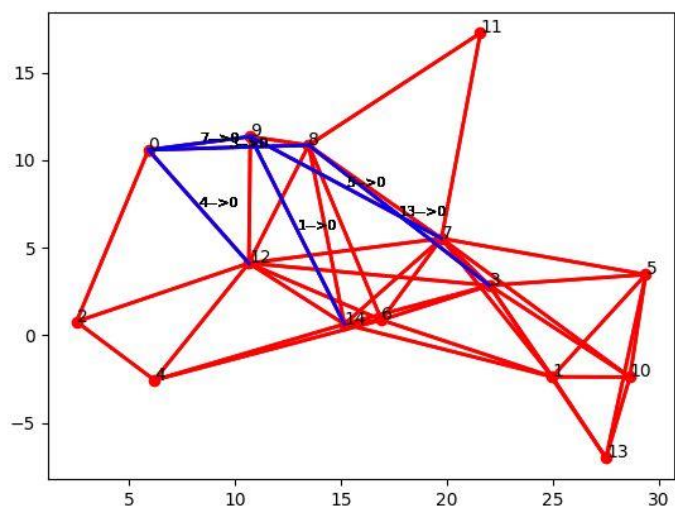
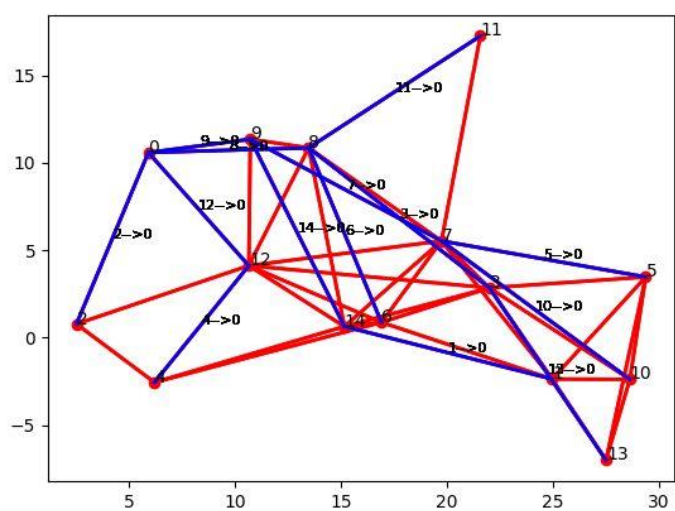
לאחר מכן, חישבנו משקלים לכל הלינקים לכל המשתמשים. בכל לינק בחרנו את הפאקטות של המשתמש שנותן את המשקל המקסימלי. וידאנו שאין כפילויות בהעברת הפאקטות.

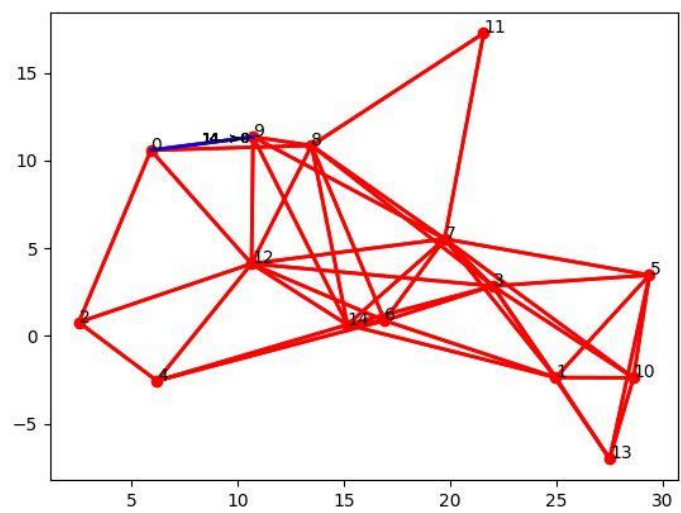
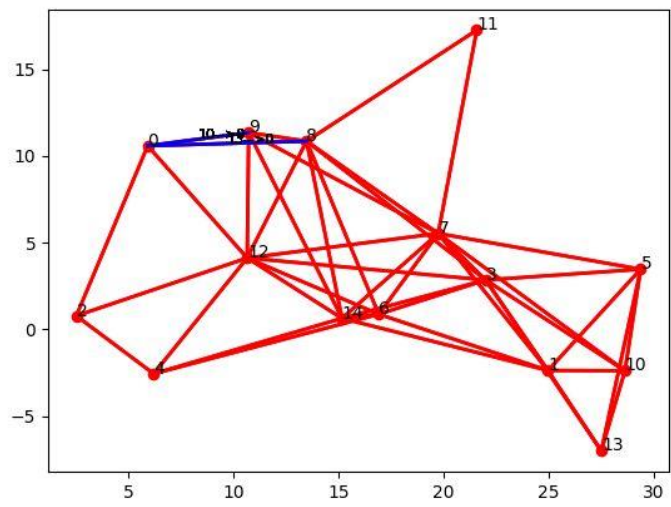
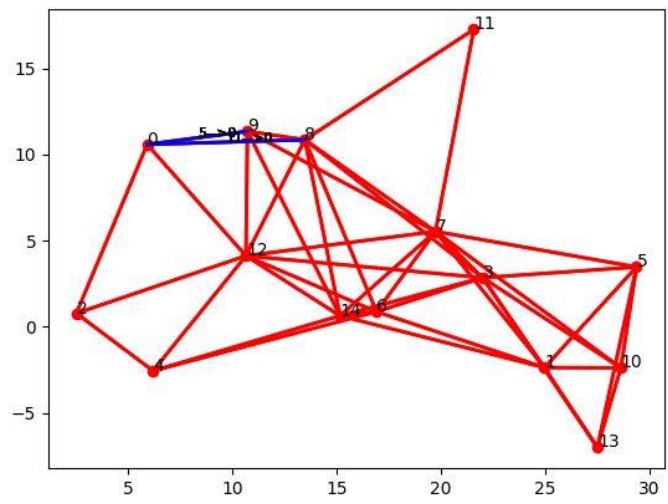
לאחר בחירת המשקלים, עשינו העברת פאקטות, והרצנו מחדש, עד שלא נשאר יותר פאקטות לשליחה, שכל הפאקטות הגיעו ליעדן. מסלולי העברה נקבעים לפי עומס ומרחק מהיעד.

## 5.2 דיווח תוצאות הסימולציה, דיון על התוצאות, והצגת גרפים

### 5.2.1 העברת פאקטות מהרכבים ל-IGW

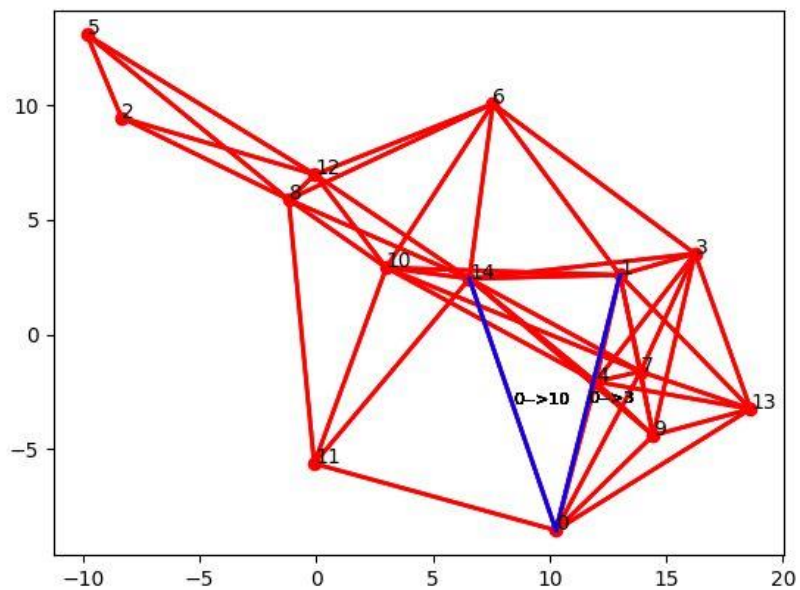
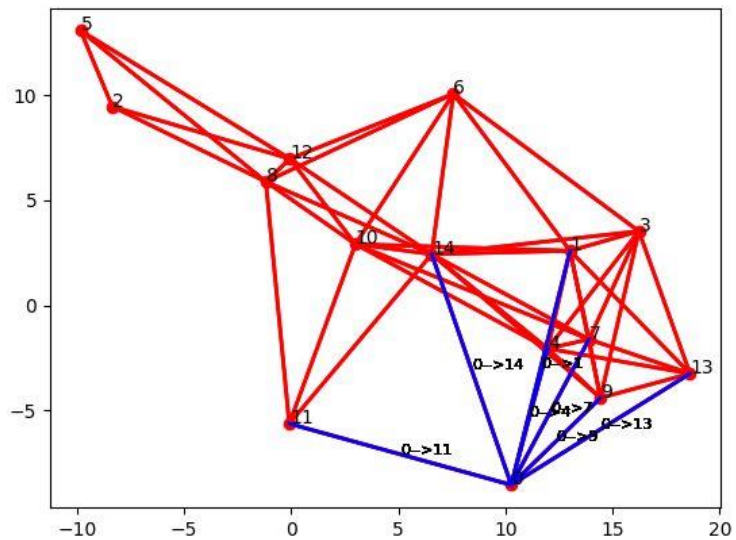
בחלק הראשון, נציג סיטואציה שבה כל הצמתים שולחים פאקטות ל-IGW. הגרפים יוצגו בשלבים. כל צומת רוצה לשלוח פאקטות ל-IGW שמספרו 0. בשלבים הבאים, עוברים לינק אחד, ואז שניים, וכן הלאה, עד שכל הפאקטות מגיעות ל-IGW בדרכים השונות.



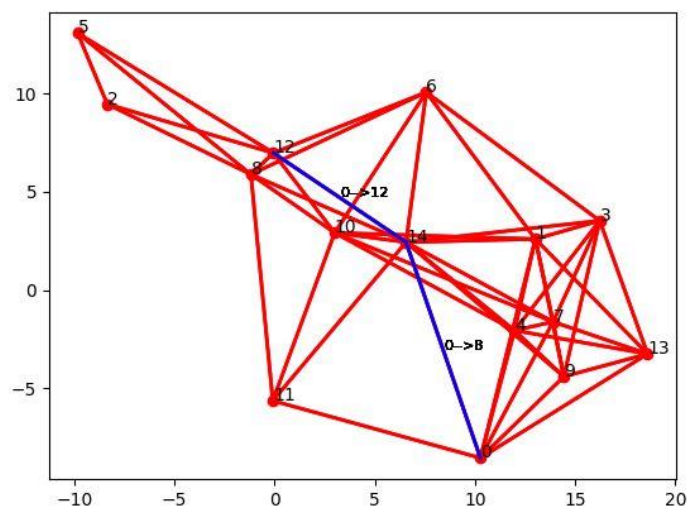
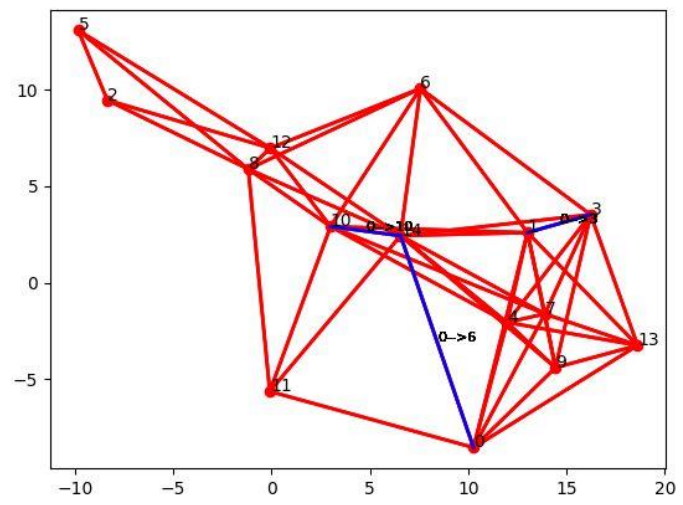
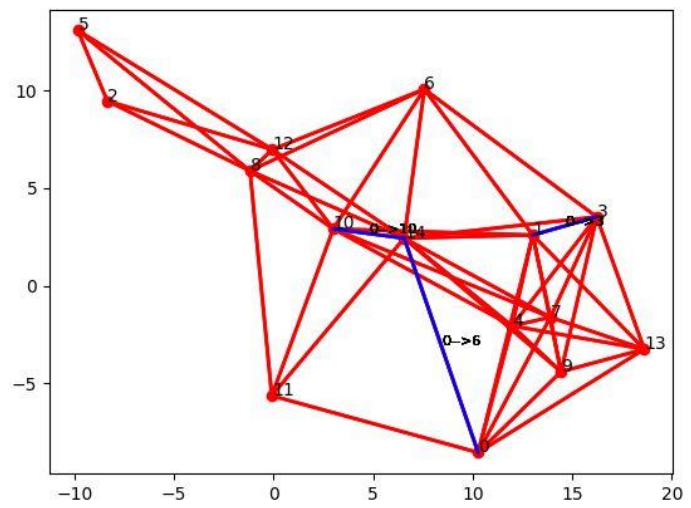


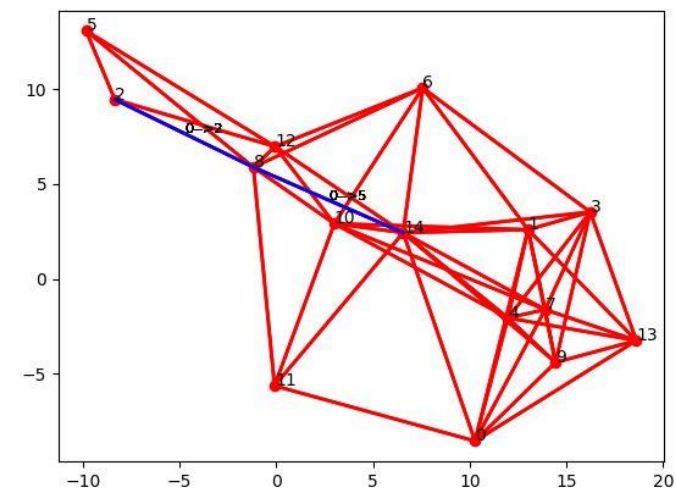
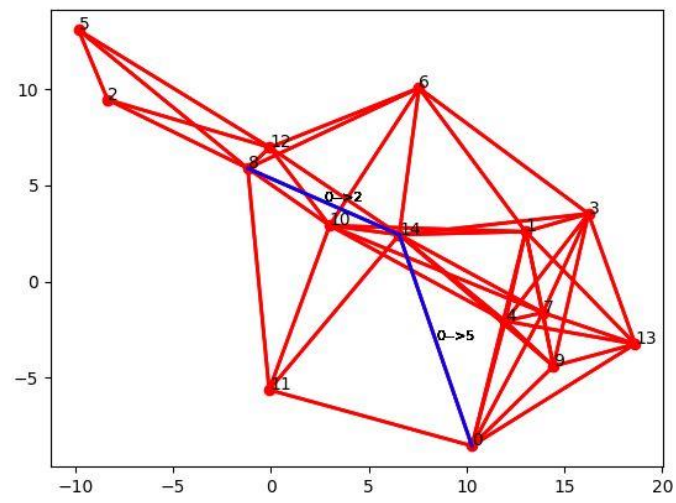
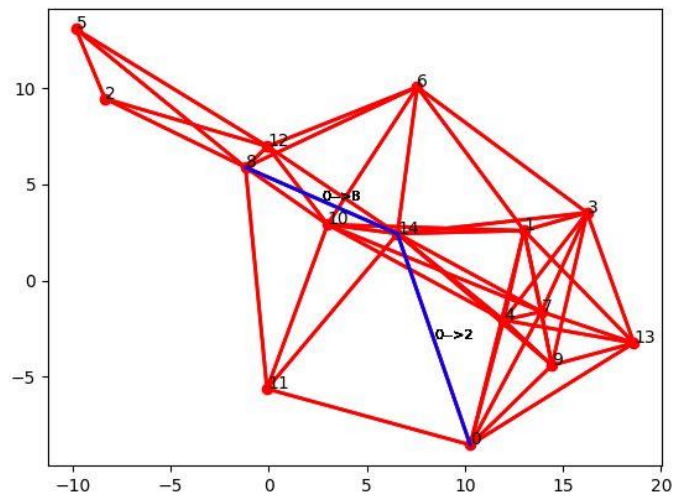
## 5.2.2 העברת פאקטות מהIGW לרכבים

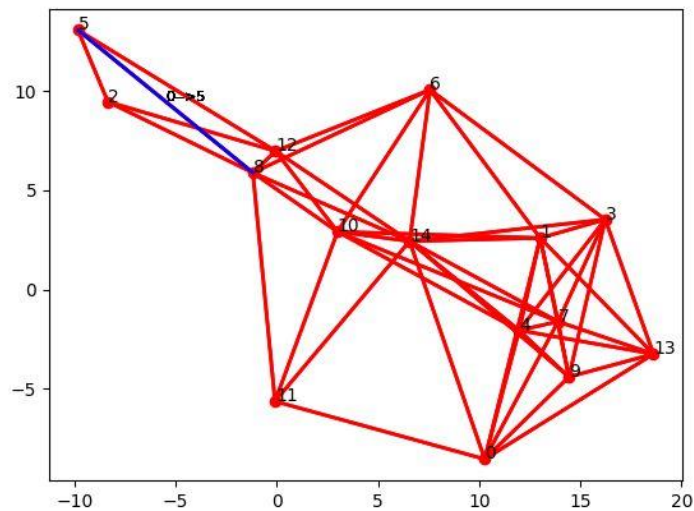
בחלק הזה, נראה שהIGW רוצה לשלוח 100 פאקטות לכל הרכבים ברשת. נראה שהוא שולח קודם לקרובים אליו, ולאחר מכן לרחוקים יותר. זה נראה לנו הגיוני מפני שהרכבים הרחוקים עלולים לצאת מהטווח, אז עדיף לסיים קודם עם הקרובים. לדוגמא מהגרפים הבאים, ניתן לראות ש5 הינו הרכב הכי רחוק ממנו. כמו כן, 1,4,7,9,11,13,14 הינם רכבים שמחברים ישירות לIGW, לכן הוא מעביר אליהם בהתחלה.











נשים לב שהלינקים הקרובים הם אלו שנשלחים ראשונים.

### 5.3 השוואה בין תוצאות המאמר לבין המימוש בסימולציה

קשה לבצע השוואה, כיוון שהרשתות מאד שונות. כמו כן, הם מימשו כמה אלגוריתמים שונים לניתוב עבור ההשוואה שבוצעה, ואנחנו מימשנו רק אלגוריתם אחד בודד.

### 5.4 דרך להרצת הקוד

```
def main():
    sim = Simulator()
    sim.initialize_sim(n=15, m=20, r=12)

    packets_list = init_packets_list(sim, to_do: 'from')
    # packets_list = init_packets_list(sim, 'to')
    DBDR_real_time(sim, packets_list)
```

נבחר את גודל הסימולטור.  $n$  זה כמות הצמתים,  $m$  זה רדיוס הגרף, ו- $r$  זה רדיוס חיבור הלינקים. צריך לבחור אם נרצה לשלוח פאקטות מה-IGW (from) או אל ה-IGW (to). לאחר מכן שולחים את הפאקטות לאלגוריתם ה-DBDR.

מריצים את הקובץ `paper.py`. כל פעם שרוצים לעבור שלב, לוחצים על `enter` בטרמינל.

## 6. מסקנות וביקורת על המאמר

### 6.1 מסקנות מהמאמר

המטרה העיקרית של המאמר הייתה לחקור דרך דינאמית לקביעת מסלולים ב-VANET כדי לממש IoV. כל זאת כדי לאפשר Intelligent Transportation Systems עתידיים.

כיוון שברשתות שרצו לבדוק יש השתנות יחסית מהירה של צמתים ברשת, היה צורך בחישוב מסלולים ברשת שלא נקבעים מראש, אלא דינאמיים, ומשתנים תוך כדי הריצה שלהם לפי שינויים של מיקומי צמתים, כמות צמתים, ועומסים ברשת. בנוסף, יש חישוב של המסלול הכי קצר מבחינת מרחק ליעד, תוך התחשבות באורך backlog ותור של הצמתים. זה ימנע מצמתים שקרובים ליעד להיות יותר מידי עמוסים, שבסוף גורר גם איבוד מידע.

המסקנה העיקרית היא שלפי ניתוח התוצאות שביצענו בסעיף 4.2, עבור הרבה ערכים שונים של ערכי הרשת, האלגוריתם המוצע של DBDR נותן תוצאות יותר טובות משאר הפרוטוקולים שבדקו. לכן זה אלגוריתם שהצליח להשיג את המטרות שהציבו במאמר.

כיוון שהתוצאות היו יותר טובות כאן מפרוטוקולים אחרים שקיימים, היינו רוצים לראות איך התחשבות בעומס של כל צומת ותכנון מסלול דינאמי שלא נקבע מראש עבור רשת סטטית. לדעתנו זה כנראה ישפר ביצועי רשת גם של רשתות סטטיות.

### 6.2 ביקורת על המאמר

#### 6.2.1 נקודות חלשות במאמר

היה חסר פירוט של החישובים של הצעדים השונים באלגוריתם שהוצע. בנוסף, היה חסר מהם בדיוק השלבים או צעדים במהלך האלגוריתם.

הייתה השוואה במאמר בין האלגוריתם המוצע DBDR ביחס 3 לאלגוריתמים שונים. לא הייתה סקירה במאמר על עוד אלגוריתמים מעבר לשלושת אלו שהשוו אליהם. כמו כן, היה יותר טוב להשוות לסוגים אלו גם כן.

לא היה במאמר שימוש באלגוריתם עבור רשת שמשתנה פחות או שהיא סטטית. זה היה מעניין לראות איך זה משתווה לאלגוריתמים אחרים של רשתות סטטיות. אנחנו מימשנו את האלגוריתם על רשת סטטית אצלנו, אז זה משהו שאפשרי והיה חסר במאמר.

כמעט ואין התייחסות על סיבוכיות האלגוריתם מבחינת חישובים וכמה זמן לוקח לו לחשב את next hop במסלול.

#### 6.2.2 נקודות חזקות במאמר

במאמר, נבדקו תוצאות האלגוריתם עבור ערכים שונים של כמות vehicles ברשת, כמות IGW, וקצב התחברות HTTP ביחס לתוצאות PDR, APD, throughput. בכל אחד מהמקרים שנבדקו, התוצאות היו יותר טובות משאר הפרוטוקולים (לא תמיד בהרבה, אבל זה עדיין תמיד היה יותר טוב).

במאמר חשבו על כמעט כל הפרמטרים האפשריים שאפשר לשנות ברשת, ועשו השוואה על שינויים אלו ביחס להרבה פרמטרים חשובים למדידת טיב האלגוריתם. הם גם הסבירו הרבה על המדדים שבדקו כדי שתהיה הבנה לקורא בלי צורך לקריאה נוספת.

יש במאמר התחשבות אך ורק במידע על השכנים. זה חוסך זמן בחישובים כיוון שאין צורך לחכות לעדכונים מכל צומת ברשת. אם היה צורך לחכות, שום דבר לא היה מתקדם כיוון שהשינויים ברשת קורים בתדירות גדולה.

כמו כן, אם החישובים לא היו דינאמיים כמו שהציעו, אלא המסלולים היו נקבעים מראש, סיכוי גדול שרוב המידע היה הולך לאיבוד ברשת עקב קצב ההשתנות הגבוהה שלה.

### **6.2.3 כיווני מחקר עתידיים**

כמו שצינו קודם, היה מעניין להשוות לפרוטוקולים אחרים, ולא דווקא ה-3 שבחרו להשוות אליהם במאמר עצמו.

עוד כיוון מעניין זה לראות את ביצועי האלגוריתם ברשת סטטית. ראינו בסימולציה שלנו דוגמא לזה, אך חסרים הרבה פרמטרים שלא היו ביכולתנו לבדוק, לכן זה כיוון חשוב לחקור, כי זה יכול אולי לעלות ביצועים עבור רשתות סטטיות גם כן. אפשר להשוות את זה שם לאלגוריתמים שאנחנו מכירים, כמו דייקסטרה, בלמן-פורד, ועוד.

כפי שהיה ניתן לראות, ה-DBDR היה יותר טוב משאר האלגוריתמים, אבל לא תמיד בהרבה. היינו רוצים לראות איך אפשר לשפר את האלגוריתם עוד יותר כדי שהתוצאות יהיו אפילו יותר טובות, וגם איך זה יתפקד בעתיד כאשר יהיה שימוש ב-Intelligent Transportation Systems.

## 7. נספחים

{1} אלגוריתם לעדכון מידע על IGW:

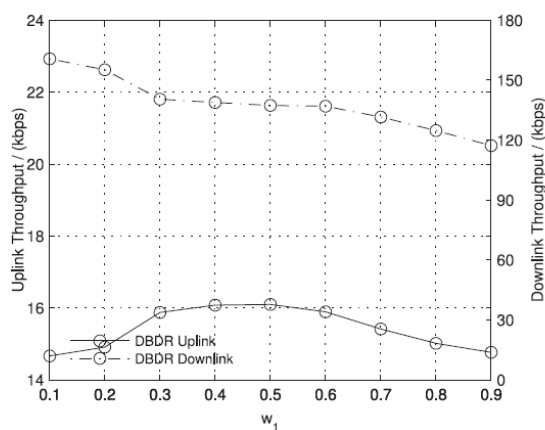
**Algorithm 1:** Processing Algorithm at a Vehicle on Receiving an AAM.

```

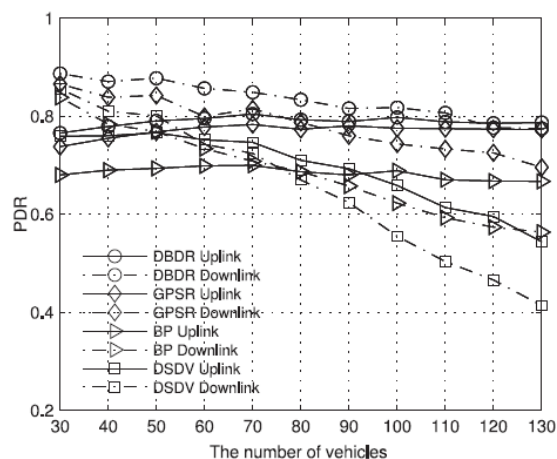
if  $TTL > 0$  then
     $TTL \leftarrow TTL - 1$ 
    if There exists an entry then
        if  $SeqNum$  in the AAM  $>$   $SeqNum$  in the buffer then
            Update the received AAM
            Rebroadcast the updated AAM to all neighbors
        else
            Discard the AAM
        end if
    end if
    if There does not exist an entry then
        Create a new IGW entry in the IGW list
        Rebroadcast the AAM to all neighbors
    end if
else
    Discard the AAM
end if

```

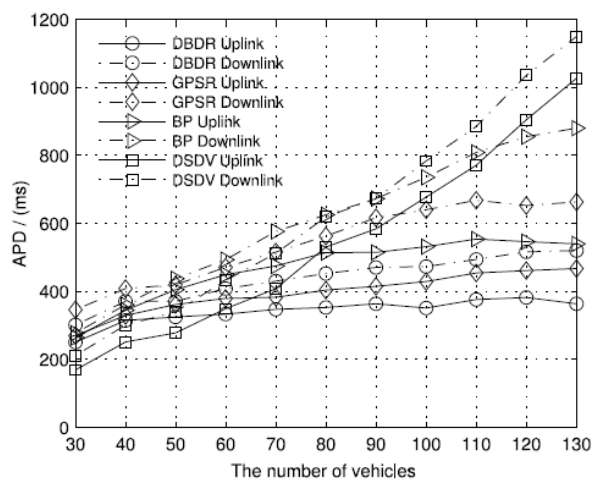
{2} Throughput של DBDR עבור ערכי  $w_1$  שונים:



{3} PDRים עבור מספרי vehicles שונים:



APD עם מספרי vehicles שונים: {4}



Throughput עם מספרי vehicles שונים: {5}

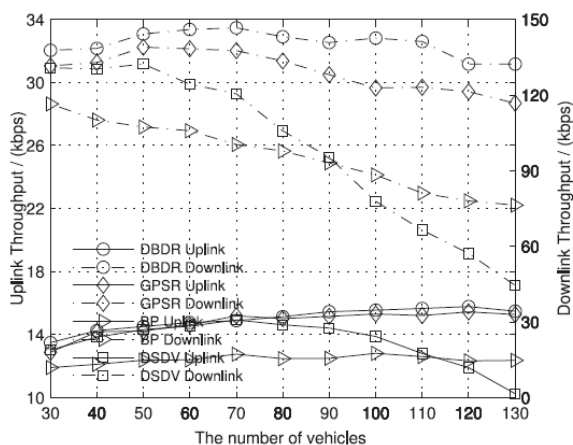
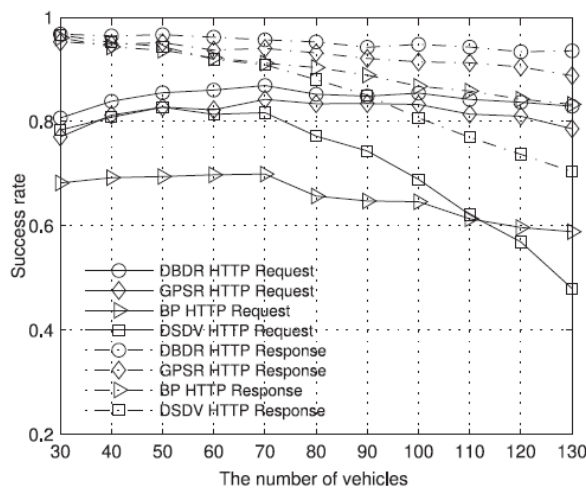
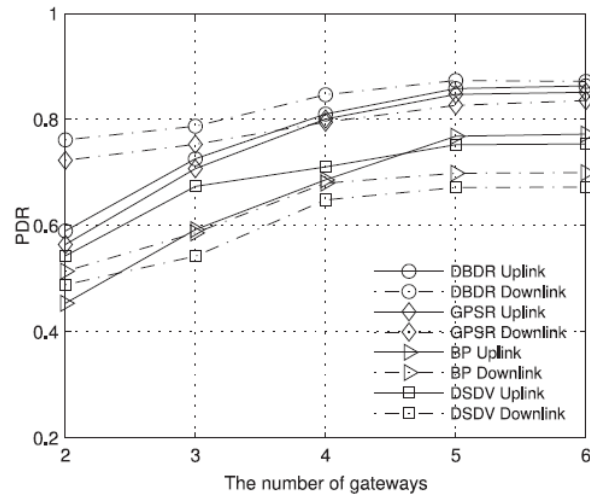


Fig. 6. Throughput of the routing protocols with different numbers of vehicles.

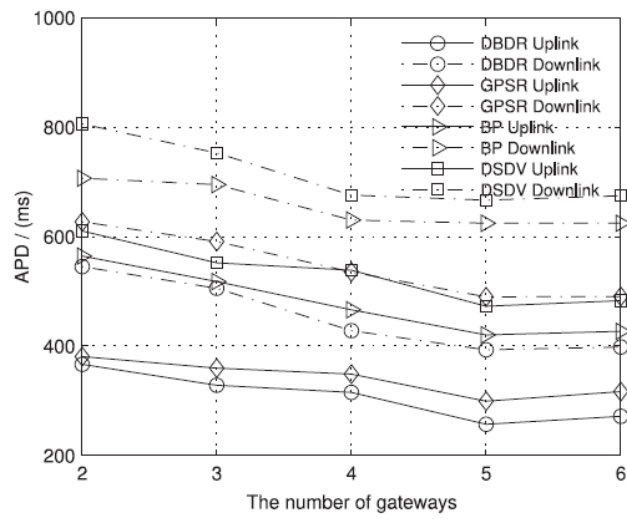
HTTP Request/Response עם מספרי vehicles שונים: {6}



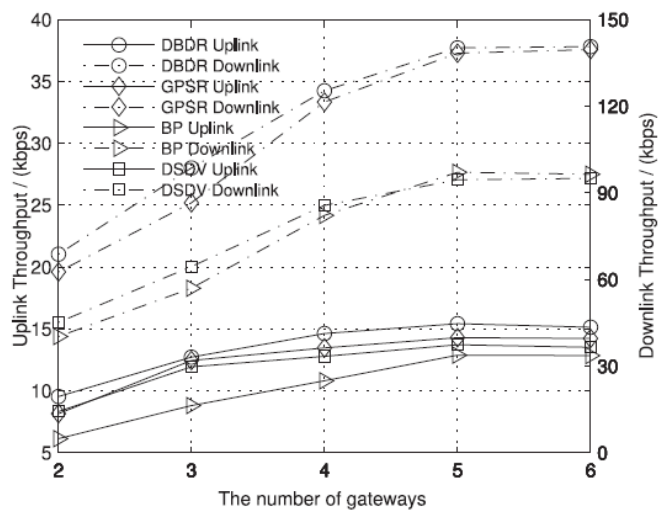
{7} PDR עבור מספרים שונים של IGW:



{8} APD עבור מספרים שונים של IGW:

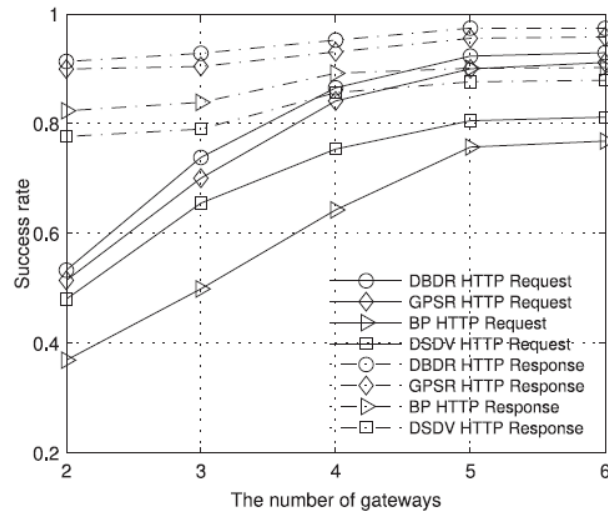


{9} Throughput עבור מספרים שונים של IGW:

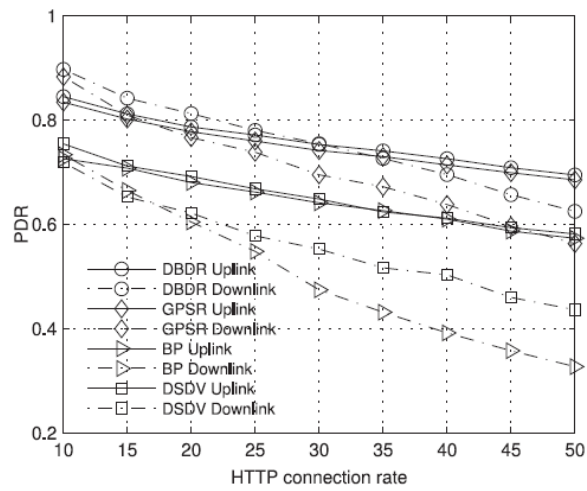




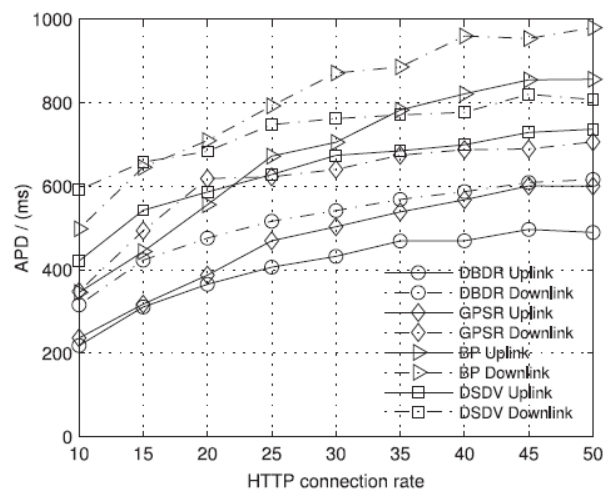
{10} HTTP Request/Response עבור מספרים שונים של IGW:



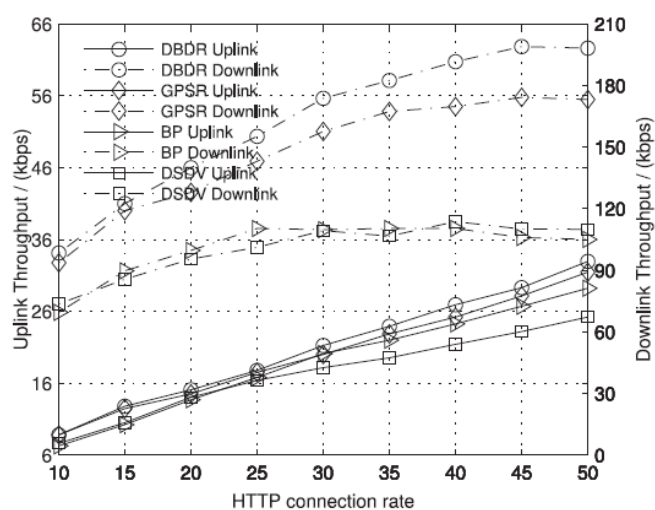
{11} PDR עבור קצבי HTTP שונים:



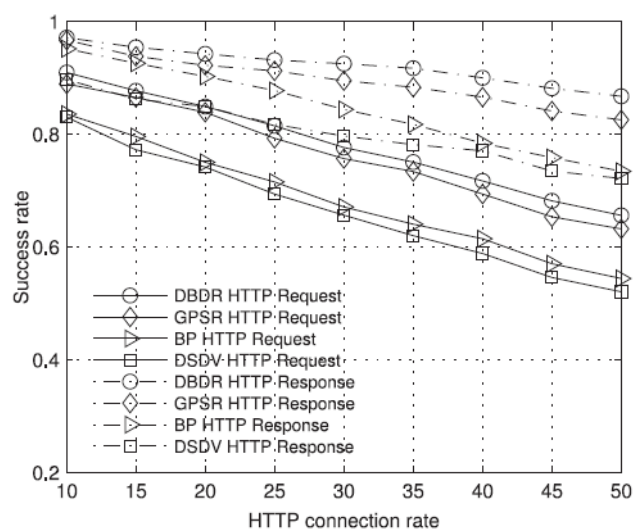
{12} APD עבור קצבי HTTP שונים:



{13} Throughput עבור קצבי HTTP שונים:



{14} HTTP Request/Response עבור קצבי HTTP שונים:



- [1] A. K. Ligo and J. M. Peha, "Cost-effectiveness of sharing roadside infrastructure for Internet of Vehicles," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 7, pp. 2362–2372, Jul. 2018.
- [2] S. A. Kazmi *et al.*, "Infotainment enabled smart cars: A joint communication, caching, and computation approach," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 9, pp. 8408–8420, Sep. 2019.
- [3] J. Contreras-Castillo, S. Zeadally, and J. A. Guerrero-Ibañez, "Internet of Vehicles: Architecture, protocols, and security," *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 5, pp. 3701–3709, Apr. 2017.
- [4] S. Sharma and B. Kaushik, "A survey on Internet of Vehicles: Applications, security issues & solutions," *Veh. Commun.*, vol. 20, no. 9, pp. 1–44, 2019.
- [5] O. Senouci, Z. Aliouat, and S. Harous, "MCA-V2I: A multi-hop clustering approach over vehicle-to-internet communication for improving VANETs performances," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 96, pp. 309–323, 2019.
- [6] R. F. Atallah, M. J. Khabbaz, and C. M. Assi, "Modeling and performance analysis of medium access control schemes for drive-thru internet access provisioning systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 6, pp. 3238–3248, Dec. 2015.
- [7] A. Baiocchi and F. Cuomo, "Infotainment services based on push-mode dissemination in an integrated VANET and 3G architecture," *J. Commun. Netw.*, vol. 15, no. 2, pp. 179–190, 2013.
- [8] D. Abada and A. Massaq, "Improving relay selection scheme for connecting VANET to Internet over IEEE 802.11 p," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 132, no. 2, pp. 1–8, 2015.
- [9] H. A. Omar, W. Zhuang, and L. Li, "On multihop communications for in-vehicle Internet access based on a TDMA MAC protocol," in *Proc. IEEE INFOCOM 2014*, Toronto, Ontario, Canada, pp. 1770–1778, 2014.
- [10] A. Benslimane, S. Barghi, and C. Assi, "An efficient routing protocol for connecting vehicular networks to the Internet," *Pervasive Mobile Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 98–113, 2011.
- [11] V. Sandonis, I. Soto, M. Calderon, and M. Urueña, "Vehicle to Internet communications using the ETSI ITS Geo Networking protocol," *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 373–391, 2016.
- [12] J. Cheng, J. Cheng, M. Zhou, F. Liu, S. Gao, and C. Liu, "Routing in Internet of Vehicles: A review," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 5, pp. 2339–2352, Oct. 2015.
- [13] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. Das, "Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *IETF RFC 3561*, 2003.
- [14] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, "The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4," *IETF RFC 4728*, 2007.
- [15] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, no. 4, pp. 234–244, Oct. 1994.

- [16] A. Ullah, X. Yao, S. Shaheen, and H. Ning, "Advances in position based routing towards ITS enabled FoG-oriented VANET: A survey," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 828–840, Feb. 2020.
- [17] Y. Wu, Y. Zhu, and Bo Li, "Trajectory improves data delivery in vehicular networks," in *Proc. IEEE INFOCOM 2011*, Shanghai, China, pp. 2183–2191, Apr. 2011.
- [18] Z. Liu, T. Zhao, W. Yan, and X. Li, "GOSR: Geographical opportunistic source routing for vanets," *ACM SIGMOBILE Mobile Comput. Commun. Rev.*, vol. 13, no. 1, pp. 48–51, Jun. 2009.
- [19] I. Leontiadis and C. Mascolo, "Geopps: Geographical opportunistic routing for vehicular networks," in *Proc. IEEE Int. Symp. World Wireless, Mobile Multimedia Netw.*, Espoo, Finland, Jun. 2007, pp. 1–6.
- [20] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. ACM MOBICOM*, Boston, MA, USA, 2000, pp. 243–254.
- [21] Y. Wu, Y. Zhu, and B. Li, "Infrastructure-assisted routing in vehicular networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, Orlando, FL, USA, Mar. 2012, pp. 1485–1493.
- [22] L. Zhang, W. Cao, X. Zhang, and H. Xu, "MAC2: Enabling multicasting and congestion control with multichannel transmission for intelligent vehicle terminal in Internet of Vehicles," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 14, no. 8, pp. 1485–1493, 2018.
- [23] N. Li, J. Martinez-Ortega, V. H. Daz, and J. A. S. Fernandez, "Probability prediction-based reliable and efficient opportunistic routing algorithm for vanets," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 26, no. 4, pp. 1933–1947, Aug. 2018.
- [24] L. Tassiulas and A. Ephremides, "Stability properties of constrained queueing systems and scheduling policies for maximum throughput in multihop radio networks," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 37, no. 12, pp. 1936–1948, Dec. 1992.
- [25] M. J. Neely, E. Modiano, and C. E. Rohrs, "Dynamic power allocation and routing for time varying wireless networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 1, pp. 89–103, Jan. 2005.
- [26] M. H. Homaei, F. Soleimani, S. Shamshirband, A. Mosavi, N. Nabipour, and A. R. Vrkonyi-Kczy, "An enhanced distributed congestion control method for classical 6lowpan protocols using fuzzy decision system," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 20 628–20 645, Jan. 2020.
- [27] T. Qiu, R. Qiao, and D. O. Wu, "EABS: An event-aware backpressure scheduling scheme for emergency Internet of Things," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 17, no. 1, pp. 72–84, Jan. 2018.
- [28] C. Makaya and S. Pierre, "An architecture for seamless mobility support in ip-based next-generation wireless networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 2, pp. 1209–1225, Mar. 2008.
- [29] J. Lloret, A. Canovas, A. Catalá, and M. Garcia, "Group-based protocol and mobility model for VANETs to offer internet access," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 3, pp. 1027–1038, 2013.
- [30] A. Benslimane, T. Taleb, and R. Sivaraj, "Dynamic clustering-based adaptive mobile gateway management in integrated VANET 3G heterogeneous wireless networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, no. 3, pp. 559–570, Mar. 2011.

- [31] T. Bellache, S. Kallel, O. Shagdar, and S. Tohme, "GeoMIP: A novel mobility management solution for Internet and VANET communication using geographic partition in mobile IP," in *Proc. Wireless Days (WD)*, Dubai, UAE, 2018, pp. 21–27.
- [32] M. Bechler and L. Wolf, "Mobility management for vehicular ad hoc networks," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, Dallas, TX, USA, 2005, pp. 2294–2298.
- [33] M. T. Abbas, A. Muhammad, and W.-C. Song, "SD-IoV: SDN enabled routing for Internet of Vehicles in road-aware approach," *J. Ambient Intell. Humanized Comput.*, vol. 11, no. 3, pp. 1265–1280, 2020.
- [34] O. S. Al-Heety, Z. Zakaria, M. Ismail, M. M. Shakir, S. Alani, and H. Alsariera, "A comprehensive survey: Benefits, services, recent works, challenges, security, and use cases for SDN-VANET," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 91 028–91 047, 2020.
- [35] K. Smida, H. Tounsi, M. Frikha, and Y. Song, "Software defined Internet of Vehicles: A survey from qos and scalability perspectives," in *Proc. 15th Int. Wireless Commun. Mobile Comput. Conf. (IWCMC)*, Tangier, Morocco, 2019, pp. 1349–1354.
- [36] J. Lu, Z. Huang, N. Liu, and Q. Guan, "Distance-weighted backlog differentials for back-pressure routing in multi-hop wireless networks," in *Proc. IEEE ICC*, Shanghai, China, 2014, pp. 791–795.
- [37] T. Issariyakul and E. Hossain, *Introduction to Network Simulator 2 (NS2)*. Boston, MA, USA: Springer, 2009.
- [38] J. Härri, F. Filali, C. Bonnet, and M. Fiore, "Vanetmobisim: Generating realistic mobility patterns for VANETs," in *Proc. 3rd Int. Workshop Veh. Ad Hoc Netw.*, Los Angeles, CA, USA, 2006, pp. 96–97.
- [39] Q. Guan, F.R. Yu, S. Jiang, and G. Wei, "Prediction-based topology control and routing in cognitive radio mobile ad hoc networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 9, pp. 4443–4452, Nov. 2010.
- [40] A. A. Ba, A. Hafid, and J. Drissi, "Broadcast control-based routing protocol for Internet access in VANETs," in *Proc. IEEE Int. Wireless Commun. Mobile Comput. Conf.*, Istanbul, Turkey, 2011, pp. 1766–1771.
- [41] C. Cooper, D. Franklin, M. Ros, F. Safaei, and M. Abolhasan, "A comparative survey of VANET clustering techniques," *IEEE Commun. Surv. Tut.*, vol. 19, no. 1, pp. 657–681, 2017.
- [42] X. Zhang, X. Cao, L. Yan, and D. K. Sung, "A street-centric opportunistic routing protocol based on link correlation for urban VANETs," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 7, pp. 1586–1599, Jul. 2016.
- [43] K. Abrougui, A. Boukerche, and R.W. N. Pazzi, "Location-aided gateway advertisement and discovery protocol for VANETs," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 8, pp. 3843–3858, Oct. 2010.
- [44] T. Liu, Y. Zhu, R. Jiang, and Q. Zhao, "Distributed social welfare maximization in urban vehicular participatory sensing systems," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 17, no. 6, pp. 1314–1325, Jun. 2018.
- [45] L. Wu, Y. Xia, Z. Wang, and H. Wang, "Be stable and fair: Robust data scheduling for vehicular networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 32 839–32 849, 2018.

- [46] X. Meng, J. Lv, and S. Ma, "Applying improved k-means algorithm into official service vehicle networking environment and research," *Soft Comput.*, vol. 24, no. 11, pp. 8355–8363, 2020.
- [47] Y. Peng and J. M. Chang, "A novel mobility management scheme for integration of vehicular ad hoc networks and fixed ip networks," *Mobile Netw. Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 112–125, 2010.
- [48] Y. Bi, H. Zhou, W. Xu, X. S. Shen, and H. Zhao, "An efficient PMIPv6- based handoff scheme for urban vehicular networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 12, pp. 3613–3628, Dec. 2016.
- [49] IEEE Standards Association, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Amendment 6: Wireless access in vehicular environments," *IEEE Standard 802.11p*, 2010.
- [50] C. Perkins, "IP mobility support for IPv4," *IETF RFC 5944*, Nov. 2010.
- [51] L. Georgiadis, M. J. Neely, and L. Tassiulas, *Resource Allocation and Cross-Layer Control in Wireless Networks*. (Foundations & Trends in Networking). Netherlands: Now, 2006.