الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الحواسيب والشبكات

تحسين آلية التوجيه في شبكات VANETباستخدام مفهوم SDN

رسالة أُعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الحواسيب وشبكاتها

إعداد

المهندسة آيات محمد أسعد

بإشراف

الدكتور المهندس مأمون يونس

أستاذ مساعد في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة

لجنة الحكم

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم 4838 المتخذ بالجلسة رقم 44 تاريخ 27\9\2021.

لجنة الحكم التي تتألف من السادة:

د. مأمون يونس	أستاذ مساعد في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة	عضواً مشرفاً
د. مفيد حداد	مدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة	عضواً
د. رأفة حازم	مدرس في قسم هندسة الحواسيب والأتمتة	عضواً

إهداء بحثي المتواضع

إلى الصناع الحقيقين لهذا الحدث الأهم في حياتي

إلى من تناستهم الحياة وتذكروني

الى أمي الغالية، إلى أبي رحمه الله .....

إلى قدوتي ورفيقة ذكرياتي وأيامي

إلى أختي ...

إلى مَن مدّني بالقوة لإنجاز هذا العمل

إلى حُبٍّ ملأني وفاض

إلى ملجأ روحي وسندي .....

الشكر لـ

أتقدَّم بأسمى آيات الشكر المعطرة للكادر التدريسي والتعليمي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية لجامعة دمشق والقائمين عليها فرداً فرداً، لما لهم من فضلٍ علينا .....

وأخص بالشكر العميق أستاذي المشرف، لصبره وعطائه الكبيرين اللذين أثمرا هذا المشروع

الدكتور المهندس مأمون يونس .....

ملخص الدراسة

إن شبكات العربات المخصصة VANET (Vehicular Ad-Hoc Network)هي حجر الأساس في نظام النقل الذكي ITS (Intelligent Transport System)، على الرغم من أنها تقدم كثيراً من المزايا والخدمات الأساسية للسائقين والركاب، كالسلامة على الطرقات والكفاءة المرورية، إلا أنها تزال تفتقر الى المرونة الكافية والقدرة على التوسع للتواصل بين العربات بسبب البينة التحتية الثابتة للشبكة الأساسية، والاستخدام غير الفعَّال للموارد، والتوزيع غير المتكافئ لحركة المرور.

وتأتي الشبكات المعرفة برمجياً (Software Defined Networks) بارقة أمل لتجاوز محدودية وقيود الشبكات التقليدية، فيُكسر في المقام الأول التكامل العمودي وذلك بفصل طبقتي التحكم وتمرير المعلومات، وبذلك تصبح المبدلات والموجهات مجرد أجهزة بسيطة، ويجري التحكم بكامل الشبكة في وحدة تحكم مركزية منطقية.

لحل هذه المشكلات في شبكات العربات المخصصة، نقترح الاستفادة من ميزات الشبكات المعرَّفة برمجياً SDN (Software Defined Network) بتطبيقها على شبكات العربات المخصصة VANET عن طريق فصل طبقة التحكم عن طبقة تمرير البيانات (تمرير الرزم)، فهي تزيد من مرونة وقابلية برمجة الشبكة المدروسة وفق الظروف المتغيرة ومتطلبات الشبكة، حيث يمكننا الاستفادة من اهم الخدمات التي تقدمها الشبكات المعرفة برمجياً كخدمة الآمان المدعمة من خلالها، ومراقبة الشبكة بالاعتماد على SDN (تقديم خدمة مراقبة سيارات الطوارئ ضمن نطاق جديد ومحدد، وتقديم بيانات خاصة بالمراقبة بسهولة وكفاءة) وخدمة المحاكاة الافتراضية للشبكات اللاسلكية أي توفير شبكات لاسلكية منطقية افتراضية عبر مشاركة موارد الشبكة المادية، وبالنتيجة يتم التحكم بشكل مركزي بالشبكة عن طريق تقديم نظام مراقبة وتوجيه مرن وفعال يحقّق الفصل الحقيقي لعملية التحكم والتوجيه عن نقل البيانات والتواصل بين المركبات (العربات) بشكل أفضل، ويوفر أيضاً معدل نقل أفضل للبيانات وأكثر استقراراً ونسبة الخطأ أقل في نقل الرزم ضمن الشبكة.

الكلمات المفتاحية: شبكات المعرفة برمجياً، شبكات العربات المخصصة، بروتوكولات التوجيه، متحكم OPEN DAYLIGHT، OPEN FLOW.

Abstract

Vehicular ad-hoc network (VANET) is the main element of intelligent transportation system (ITS) for many services for example road safety and traffic efficiency. However, present-day VANET architectures supply less flexibility and scalability for vehicle-to-vehicle connection because of fixed underlying network infrastructure.

Software-Defined Networks come with a glimmer of hope to overcome the limitations and limitations of traditional networks. Vertical integration is primarily broken by separating the two layers of control and passing information, so that switches and routers become just simple devices, and the entire network is controlled in a central logical console.

To solve these problems in ad-hoc car networks, we suggest taking advantage of the SDN (Software Defined Network) features by applying them to VANET by separating the control layer from the data pass layer (packet passing), it increases the flexibility and scalability of the studied network according to Changing conditions and network requirements, where we can take advantage of the most important services provided by software-defined networks such as the security service supported through it, network monitoring based on SDN (providing emergency vehicle monitoring service within a new and specific range, and providing monitoring data easily and efficiently) and virtualization service for wireless networks That is, the provision of virtual logical wireless networks through the sharing of physical network resources, and as a result the network is centrally controlled by providing a flexible and effective monitoring and routing system that achieves the real separation of the process of control and routing from data transmission and communication between (vehicles) better, and also provides a better data transfer rate It is more stable and the error rate is lower in packet transmission within the network.

Key words:

VANET, SDN, routing protocols, Open Flow, V2V, V2I, Open Daylight.

الفهرس

المقدمة: 12

1.1 مقدمة: 13

1.2 أهمية البحث: 14

1.3 الهدف من البحث: 14

1.4 فكرة البحث والمشكلة التي يناقشها: 14

1.5 الدراسات المرجعية: 15

الفصل الأول الدراسات السابقة وتحليل الموضوع 17

2.1 المقدمة: 18

2.2 مرونة الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) في الاتصال بشبكات العربات المخصصة (VANET): 18

2.3 **الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً** SDWN: 21

2.4 الشبكات اللاسلكية المتداخلة المعرفة برمجياً WMSDN 24

2.5 **نحو شبكات العربات المعرفة برمجياً: البنى والخدمات** 25

الفصل الثاني الدراسة النظرية: 34

3.1 المقدمة: 35

3.2 الشبكات المعرفة برمجياً SDN: 35

3.2.1 تعريف الشبكات المعرفة برمجياً: 37

3.2.2 بنية الشبكات المعرفة برمجياً: 37

3.3 شبكات العربات المخصصة: 53

3.3.1 المقدمة: 53
3.3.2 تعريف شبكات العربات المخصصة: 53
3.3.3 **التوجيه في شبكات العربات المخصصة:** 55
3.3.4 **التحديات التي تواجه شبكات العربات المخصصة المتحركة:** 62
3.4 **شبكات الاتصال النقالة** 63
3.4.1 أجيال الاتصالات: 63
الفصل الثالث: التطبيق العملي 68
ئ4.2 الأدوات المستخدمة في المحاكاة: 69
4.2.1 المحاكي Mininet WIFI 69
4.2.2 SUMO 69
4.2.3 المتحكم OPEN DAYLIGHT (ODL) 72
4.2.4 محلل الشبكة Wireshark 77
4.3 الدراسة التحليلية: 78
4.4 الدراسة التصميمية: 81
4.5 النتائج: 86
4.5.1 السيناريو الأول: تطبيق شبكات العربات المخصصة التقليدية دون الشبكات المعرفة برمجياً 86
4.5.2 السيناريو الثاني: تطبيق شبكات العربات المخصصة مع الشبكات المعرفة برمجياً حيث العقد ضمن تغطية نقطة وصول واحدة. 91
4.5.3 السناريو الثالث: تطبيق الشبكات العربات المخصصة مع شبكات المعرفة برمجياً في حال وجود العقد موزعة ضمن تغطية نقاط وصول (وحدات جانب الطرقات) مختلفة. 95
4.5.4 السيناريو الرابع: تطبيق شبكات العربات المخصصة مع الشبكات المعرفة برمجياً في حال احدى السيارات خارج نطاق تغطية شبكة الSDN 100

4.6 الآفاق المستقبلية: 108

المراجع: 110

قائمة الأشكال List of Figures

الشكل (2-1) البنية المقترحة لشبكات VANET بالاعتماد على النظام المقترح لشبكات SDN 18

الشكل (2-2) بنية النظام المُقترح المطبق على متحكم SDN 19

الشكل (2-3) بنية بروتوكول الحل المقترح 23

الشكل (2-4) البنية المقترحة للحل (شبكة OPEN FLOW) 24

الشكل (2-5) بنية المبدل WMR 25

الشكل (2-6) مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً 26

الشكل (2-7) مكونات OPEN FLOW 27

الشكل (2-8) ألية الاتصال ضمن شبكات VANET المطبق عليهاSDN 28

الشكل (2-9) البنية الداخلية للعقدة اللاسلكية في SDN 29

الشكل (2-10) مقارنة أداء بروتوكولات التوجيه التقليدية مع SDN 33

الشكل (2-11) مخطط يوضح مدة انهيار الشبكة في حال تعطل المتحكم 33

الشكل (3-1) المفهوم العام لشبكات المعرفة برمجياً SDN 36

الشكل (3-2) طبقات وبنية النظام في الشبكات المعرفة برمجياً 37

الشكل (3-3) أجهزة SDN التي تدعمOpenFlow 38

الشكل (3-4) بنية طبقة التحكم في الشبكات المعرفة برمجياً 43

الشكل (3-5) الواجهات الشرقية الغربية في المتحكمات الموزعة 44

الشكل (3-6) المكونات الأساسية لشبكات العربات المخصصة 54

الشكل (3-7) تصنيفات بروتوكولات التوجيه في شبكات VANET 56

الشكل (3-8) بروتوكولات التوجيه في شبكات VANET 58

الشكل (4-1) الشكل العام للشبكة المدروسة ..... **Error! Bookmark not defined.**

الشكل (4-2) بنية العقدة المتحركة في الحل المقترح 78

الشكل (4-3)بنية الوحدات الطرفية الجانبية في الحل المقترح 79

الشكل (4-4)تشغيل خاصة Karaf ضمن المتحكم ODL 82

الشكل (4-5) تنزيل ميزات المتحكم ODL 82

الشكل (4-6) طوبولوجيا الشبكة ضمن المتحكم 82

الشكل (4-7) الاتصال بين السيرفر والعميل 82

الشكل (4–8) جداول التدفق بين المتحكم ووحدات جانب الطرقات 84
الشكل (4–9) توزع السيارات في حال السيناريو الأول 86
الشكل (4–10) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الأول 87
الشكل (4–11) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الأول 88
الشكل (4–12) مخطط tcp trace للسيناريو الأول 90
الشكل (4–13) توزع السيارات في حال السيناريو الثاني 91
الشكل (4–14) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الثاني 92
الشكل (4–15)معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الثاني 93
الشكل (4–16) توزع السيارات في حال السيناريو الثالث 95
الشكل (4–17) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الثالث 96
الشكل (4–18) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الثالث 97
الشكل (4–19) مخطط tcp trace للسيناريو الثالث 99
الشكل (4–20) توزع السيارات في حال السيناريو الرابع 100
الشكل (4–21) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الرابع 101
الشكل (4–22) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الرابع 102
الشكل (4–23) مخطط tcp trace للسيناريو الرابع من وجهة نظر السيرفر 104
الشكل (4–24) مخطط tcp trace للسيناريو الرابع من وجهة نظر العميل 105

قائمة الجداول List of Tables

جدول (3-1) أهم لغات برمجة شبكات SDN عالية المستوى 47
جدول (3-2) تطبيقات هندسة البيانات في شبكات SDN 49
جدول (3-3)أهم تطبيقات الحركية واللاسلكية المستخدمة في شبكات SDN 50
جدول (3-4) أهم تطبيقات القياسات والمراقبة في شبكات SDN 51
جدول (3-5) أهم تطبيقات الأمن والأمان في شبكات SDN 51
جدول (3-6) أهم تطبيقات مراكز شبكات البيانات 52
جدول (3-7) نقاط التشابه والاختلاف بين شبكات VANETوشبكات MANET 55
جدول (3-8) أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات VANET 61
جدول (3-9) مقارنة بين بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الطوبولوجيا والمعتمدة على الموقع 62
جدول (3-10) البرامج المتضمنة في sumo 71
جدول (3-11) معدل قيم التدفق في السيناريو الأول 88
جدول (3-12) معدل قيم التدفق في السيناريو الثاني 93
جدول (3-13) معدل قيم التدفق في السيناريو الثالث 97
جدول (3-14) معدل قيم التدفق في السيناريو الرابع 102

1 الفصل الأول: المقدمة:

1.1 مقدمة:

حققت الشبكات الحاسوبية نجاحاً هائلاً في اختراق حياتنا اليومية لمعظم الناس، وأصبحت جزءاً أساسياً في العمل وفي كل مكان تقريباً بتطبيقاتها واستخداماتها المختلفة، وكان لهذا النجاح وجهان متباينان إذ إنه من ناحية كان شيئاً عظيماً ونجاحاً باهراً للعاملين به وللمطورين، وكان من جهة أخرى عائقاً أمام أي تطوير وتجديد، إذ إن هذا الانتشار الواسع أدى الى وضع العوائق أمام تجريب أي فكرة جديدة بسبب رفض الناس بعامة التخلي عن خدمات الشبكات، وبالنتيجة أصبح البيان الشبكي بكامله تقريبا متحجراً وبعيداً عن ملاءمة الحاجات والإمكانات الجديدة، فمن المستحيل تقريباً اليوم أن تقوم بأي تجارب عملية لبروتوكولات جديدة وبديلة مثلاً عن بروتوكولIP ضمن شروط واقعية بما يكفي من أجل اكتساب الوثوقية المطلوبة لتطبيقها.

هنا برزت الحاجة إلى منظور جديد وبنية مغايرة، فكانت الشبكات المعرفة برمجياً (SDN)، ومن أهم ما أتاحه هذا المفهوم هو إدخال فكرة إدارة الشبكات افتراضياً (Network Virtualization)، فعلى الرغم من التقدم الكبير في مجال الحوسبة الافتراضية والتخزين الافتراضي (Computer and Storage Virtualization) ماتزال الشبكات الافتراضية أمراً بعيداً عن الواقع العملي.

إضافة الى ذلك تُقدم الشبكات المعرفة برمجياً مرونة عالية فيما يتعلق بتعريف السياسات الشبكية وإمكانية تعديلها وتغييرها بوقت أسرع بكثير مماهو سائد حالياً، حيث يمكن تطبيق الواقع الشبكي في منحيين، ويمكن أن نطلق عليهما التقسيم الافتراضي العمودي والأفقي، ففي التقسيم الافتراضي الأفقي يمكن تعريف الشبكة بحيث تقوم بتخديم نوع معين من الزبائن وفق شروط خاصة تختلف عن بقية الزبائن، وهذا يفيد في تطبيقات عديدة، منها مثلاً: تخصيص عرض حزمة كافٍ ومؤمن لسيارات الطوارئ في المدنية من أجل ضمان وثوقيه اتصال عالية جداً، وأما في التقسيم الافتراضي العمودي فيُنظرُ إليه على أن المكون المدروس يمكن أن يؤدي مهمات عديدة في الطبقات الشبكية المختلفة في الوقت نفسه تبعاً لسياسةٍ ما معرفة برمجياً.

1.2 أهمية البحث:

يُقترح من خلال الورقة البحثية بنية جديدة نعتمد من خلالها على ميزات الشبكات المعرفة برمجياًSDN في تحسين أداء توجيه شبكات العربات المخصصة VANET، وهذا يوفر فصلاً حقيقياً لعملية التحكم والتوجيه عن نقل البيانات، ويعطي أداء أفضل بين العقد اللاسلكية (العربات).

1.3 الهدف من البحث:

الغاية الجوهرية في هذا البحث الاستفادة من ميزات الشبكات المعرفة برمجياً SDN في شبكات العربات المخصصة VANET لتحسين ألية التوجيه ضمن الأخيرة وزيادة مرونة الشبكة، وذلك بتطبيق المبدأ القائم للشبكات المعرفة برمجياً SDNوهو فصل طبقة التحكم عن طبقة تمرير البيانات، حيث يمكننا التحكم بشكل مركزي وأوتوماتيكي بالشبكة وتقديم نظام مراقبة وتوجيه مرن وفعال للتواصل بين العقد اللاسلكية المتحركة العربات.

1.4 فكرة البحث والمشكلة التي يناقشها:

إن شبكات العربات المخصصة حجر الأساس في نظام النقل الذكي، على الرغم من أنها تقدم كثيراً من المزايا والخدمات الأساسية للسائقين والركاب من كفاءة مرورية وسلامة وغيرها، لكنها مازالت تواجه عدداً من التحديات والصعوبات، على سبيل المثال: عدم المرونة الكافية والقدرة على التوسع بسبب البنية التحتية للشبكة الأساسية، والاستخدام غير الفعال للموارد، وغياب جودة الخدمة.

ونعمل على تقديم اقتراح لبنية شبكية تعمل على دمج ميزات وفوائد الشبكات المعرفة برمجياً في شبكات العربات المخصصة، وذلك باقتراح آلية توجيه توفر للبنية التحتية الاستقرار ومعدل نقل أفضل للبيانات من خلال وجود دماغ مُوزّع ضمن البنية التحتية المقترحة لشبكات العربات المخصصة (متحكم SDN) يعمل على تحديد المسارات الأفضل وإرسال جداول التدفق الى البنية التحتية RSUs دون التعاون من قبل العربات كما في الحالة التقليدية لشبكات العربات المخصصة، وهذا ينعكس أمنيا بشكل إيجابي ويكون معدل النقل أفضل وأكثر استقراراً.

1.5 الدراسات المرجعية:

تناولت كثيراً من الدراسات السابقة إمكانية استغلال ميزات الشبكات المعرفة برمجياً في تحسين أداء شبكات العربات المخصصة، ونستعرض بعض منها فيما يأتي:

درس كل من Kalokhe, Kamran Naseem Park, Younghee Chang, Sang-Yoon مدى مرونة الشبكات المعرفة برمجياً في تحسين أداء شبكات العربات المخصصة من خلال تقديم نظام مرن وفعال للتفاعل مع الشبكة بالزمن الحقيقي، من خلال استخدام متحكم SDN مطبق عليه النظام المُقترح المطبق على متحكم مركزي والمُؤلف من قسمين أساسين هما مراقبة الشبكة ومتغيراتها، ومن ثم اختيار المسار الأفضل بالاعتماد على معادلة رياضية جرى دراسة محدداتها واختبارها، وهذه المحددات هي عدد القفزات الكلي لكل مسار مقترح H، قوة الإشارة المستقبلة RSSI، وزمن التأخير L، ومعدل التدفقB [1].

كما قدم Salvatore Costanzo, Laura Galluccio, Giacomo Morabito, Sergio Palazzo مفهوماً واضح لميزات الشبكات المعرفة برمجياً في بيئات الشبكة اللاسلكية عديمة البنية التحتية، وكيفية ملاءمة الشبكات المعرفة برمجياً لمتطلبات الشبكات اللاسلكية، وخاصة الشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل LR-WPANs المعروفة بالمعيار IEEE 802.15.4، واقتراح توصيف حل مقترح لتفعيل مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً ضمن الشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل، وهو العمل على تطوير حساسات للشبكة بالاعتماد على المعيار IEEE 802.15.4 للتواصل بين العقد، ووحدة البث الإرسال والاستقبال تُنشر ضمن مجموعة من العقد في الشبكة مع مراعاة إمكانيات الطاقة والمعالجة الحاسوبية[2].

أما Andrea Detti, Claudio Pisa, Stefano Salsano, Nicola Blefari-Melazzi ركزوا على الاستفادة من مزايا الشبكات المعرفة برمجياً في سهولة إدارة الحركية في الشبكة وتقنيات التوجيه وهندسة نقل البيانات واستخدام الموارد من عرض الحزمة الى الطاقة. لكن واجهوا بعض الصعوبات والعقبات، كانخفاض وثوقية القنوات اللاسلكية، وهذا قد يعطل الاتصال مع المتحكم لفترة مؤقتة[3].

وأيضا قدّم كل من Ian Ku, You Lu, Mario Gerla,Francesco Ongaro, Rafael L. Gomes, Eduardo Cerqueira حلاً مقترحاً لبنية جديدة لشبكات العربات المخصصة، عند إضافة متحكم بثلاثة أنماط تحكم (مركزي، موزع، هجين) و شرح لبنية شبكة الـ Open FLOW، بالإضافة الى شرح الهدف والغاية من استخدام الشبكات المعرفة برمجياً، ونمذجة لآليات التعامل مع انقطاع الاتصال مع المتحكم المركزي عن طريق متحكم عملي محلي في العقد اللاسلكية[4].

كما قدم الباحثان Somaly Thun, Chaiyachet Saivichit خوارزمية تحسين لأداء شبكات العربات المخصصة من خلال التعامل بين متحكم OPEN FLOW NETWORK، وIEEE 802.11p

وتوصلوا إلى أن شبكة العربات المخصصة والشبكات المعرفة برمجياً معتمدة بالبنية التحتية على IEEE 802.11p تُمكنها من إدارة وحدات جانب الطرقات RSU بشكل أفضل، ومن ثم زمن وصول الرزم أفضل[5].

أما الباحثان Sumit Badotra وJapinder Singh فقد درسا بنية المتحكم في شبكات المعرفة برمجياً وخاصة متحكم OPEN DAYLIGHT وألية تنزليه وبنيته وميزاته، وإمكانية برمجة التطبيقات من خلال AD-SAL و MD-SAL، ومن ثم يمكنه العمل كنهج تفاعلي أو استباقي، وأيضاً توافقه مع طيف واسع من البروتوكولات والمعايير، ومن ثم مستقبلاً يصبح عنصراً أساسياً من تطوير شبكات الاتصالات[6].

وأخيرا بحث كل من Zhenqian He, Bin Fu, Ao Cao, Jian Yu عن زمن تسليم الرزم Handover في شبكات العربات المخصصة المعتمدة على لشبكات المعرفة برمجياً، وتوصلوا إلى أنه يزداد زمن التأخير مع الزيادة في السرعة للعربات، أي: كلما ازدادت السرعة ازداد عدد عمليات التسليم والمزيد من إرسال الرسائل المتبادلة[7].

2 الفصل الثاني: الدراسات السابقة وتحليل الموضوع

2.1 المقدمة:

نستعرض في هذا الفصل بعض الحلول المقترحة لموضوعات مشابهة للبحث المطروح وشرح التفاصيل والحلول التي قدمتهما.

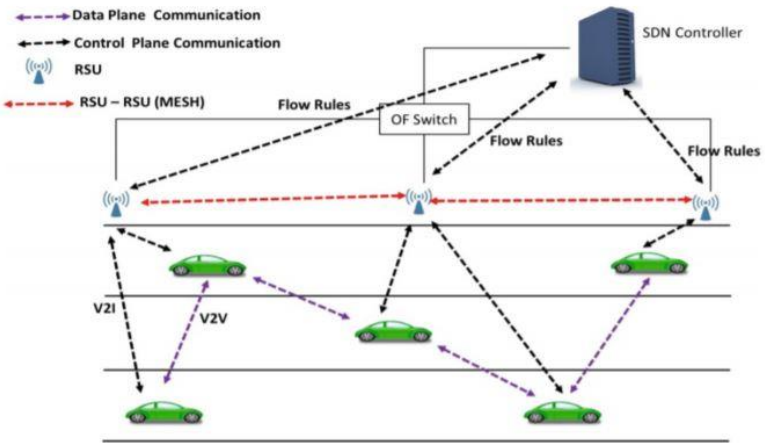
2.2 مرونة الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) في الاتصال بشبكات العربات المخصصة (VANET):

يُقترح الحل بتقديم نظام توجيه مرن وفعال للتفاعل مع الشبكة بالزمن الحقيقي بالاعتماد على مفهوم SDN.

يتكون النظام من جزئيين أساسيين: مراقبة الشبكة واختيار المسار.

- مراقبة الشبكة يعمل على جمع بيانات الشبكة المتعلقة بالتبديل بين العربات والوحدات الموجودة جانب الطرقات RSU، باستخدام بروتوكول SNMP بروتوكول إدارة الشبكة البسيط.
- اختيار المسار يوفر أفضل مسار بين المصدر والوجهة بتحديد أفضل مجموعة من RSU's من خلال خوارزمية أقصر مسار معدلة.

يقوم متحكم SDN بمراقبة متغيرات الشبكة الديناميكية وبنيتها التحتية بشكل مستمر من أجل تحديد أفضل مسار تسلكه الرزم بين العربات من خلال بروتوكول V2V. فتقوم وحدة التحكم بثبيت قواعد التدفق التي تتحكم في تسيير البيانات في أجهزة التمرير (المبدلات، موجهات) وفق ما جرى تحديده في مسار التوجيه للاتصال من طرف الى طرف. و جُهّز RSU برمجياً ببروتوكول Open Virtual Switch لتتمكن من التعامل مع قواعد التدفق بشكل ديناميكي وتمريرها الى العربات (المركبات) ضمن مستوى تمرير البيانات[1].

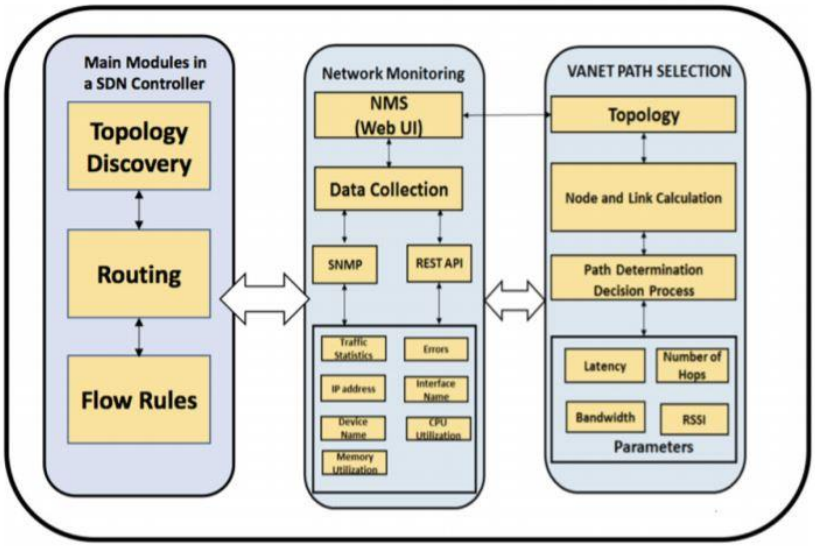


الشكل (2–1) البنية المقترحة لشبكات VANET بالاعتماد على النظام المقترح لشبكات SDN

بنية متحكم الشبكة:

يتكون متحكم SDN من قسمين أساسين: نظام مراقبة الشبكة، ونظام اختيار مسار التوجيه.

القسم الأول: مسؤول عن حركة المرور باستمرار وجمع المعلومات الإحصائية من الشبكة VANET وتتبع الحالة المادية للمركبة. والقسم الثاني يختار أفضل مسار توجيه بين المركبات النهائية (العربات) بالاعتماد على البيانات المجمعة من قبل نظام مراقبة الشبكة. بمقارنة شبكات العربات المخصصة والشبكات السلكية نجد أن شبكات العربات تواجه قيوداً في أثناء مراقبة حركة المرور بسبب كثرة تنقل العربات وحركتها الدائمة وصعوبة الوصول اليها لحظة بلحظة، لذلك فإن نظام مراقبة الشبكة يركز على مراقبة وحدات جانب الطرقات RSU لجمع المعلومات الإحصائية وتتبع حالة المركبة النهائية من خلالها، وذلك لإعادة اختيار مسار التوجيه بين المركبات النهائية وفق المعلومات الواردة من RSU.



الشكل (2–2) بنية النظام المُقترح المطبق على متحكم SDN

نظام مراقبة الشبكة يقوم بجمع المعلومات عن الشبكة من خلال مراقبة وحدات جانب الطرقات RSU والمركبات بوساطة بروتوكول SNMP حيث يقوم هذا البروتوكول بجمع البيانات عن حالة RSU والمركبات، في حين أنَّ متحكم SDN يجمع المعلومات الموجودة في Open Flow Switch، ثم يقوم المتحكم بحفظ جميع البيانات التي تصل بما فيها معلومات الواجهات وحركة الرزم ومعلومات استخدام الموارد (وحدة معالجة مركزية، ذاكرة) وعرض النطاق الترددي للواجهة والرزم الضائعة بين المركبات وبين وحدات جانب الطرقات. متحكم SDN يتحكم بالاتصال

بين وحدات جانب الطرقات فيما بينها، في حين أنَّ لا يستطيع الوصول بشكل مباشر للمركبات، بسبب عدم وجود اتصال مباشر بينهما. نظام مراقبة الشبكة يكتشف الفشل في حركة الرزم من خلال المعلومات المخزنة المتعلقة بالرزم الضائعة والاستخدام الفعال للموارد (الذواكر ووحدة المعالجة المركزية)، أما بقية المعلومات الإحصائية التي يتم جمعها فتُستخدم في تحديد مسار التوجيه من أجل اختيار أفضل مسار بين وحدات جانب الطرقات RSU ومن ثمَّ تحدد الأخيرة التواصل بين المركبات في الشبكة. رغم أن شبكات العربات المخصصة تدعم العديد من البروتوكولات والخدمات الجديدة، لا تزال هناك تحديات في تطبيق هذه الخدمات ونشرها، مثل عدم التوازن في تدفق حركة المرور في طوبولوجيا الشبكة متعددة المسارات. لذلك فإن البنية المفتوحة والمرنة للشبكة هي المتطلبات الأساسية لإيجاد حلول فعالة تحسن آلية عمل هذه الشبكات وتسهل عملية إدارة الموارد المتاحة والتطبيقات. وأفضل مثال لهذه البيئة هي الشبكات المعرفة برمجياً[1].

القسم الثاني: تم اختيار مسار التوجيه بين المتحكم ووحدات جانب الطرق أو فيما بينها بالاعتماد على ثلاثة متغيرات: عرض الحزمة، زمن تأخير وصول الرزم latency، وعدد القفزات، حيث يتم جمع المعلومات الإحصائية من البيانات الواردة النظام مراقبة الشبكة[1].

يتم حساب تكلفة أفضل مسار توجيه وفق المعادلة المعتمدة على المعايير السابقة لحساب أفضل مسار

$$C_{ij}^{Pr} = \alpha(L_{ij}^{Pr} * B) + \beta(H_{ij}^{Pr}) + \gamma\left(RSSI_{final}\right) \quad (i.e.\ \alpha + \beta + \gamma \leq 1)$$

C: تكلفة المسار بين اثنتين من وحدات جانب المسار.

L: زمن تأخير وصول الرزم.

B: معدل التدفق.

H: عدد القفزات الكلي لكل مسار مُقترح.

RSSI: قوة الإشارة المستقبلة.

2.3 الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً SDWN:

تم العمل من أجل الوصول الى مفهوم واضح لفوائد الشبكات المعرفة برمجياً في بيئات الشبكات اللاسلكية عديمة البنية التحتية، وكيفية توسيع مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً لتلائم متطلبات الشبكات اللاسلكية[2].

الأفكار الرئيسية التي تناقشها هذه الورقة البحثية:

أولاً: توضيح وتحليل الفوائد والمزايا للشبكات اللاسلكية عديمة البنية التحتية عند استخدام الشبكات المعرفة برمجياً، وخاصة الشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل LR–WPANs المعروفة بالمعيار IEEE 802.15.4.

هناك إجماع على التكنولوجيا المعتمدة في الشبكات اللاسلكية وفق المعيار السابق المذكور، لكن مازال هناك خلاف على توصيف الطبقات العليا من هذه الشبكات ضمن البروتوكول، فإن ZigBee, 6LowPan هما البروتوكولان الأكثر استخداماً في هذه الحالة، لكنهما غير متوافقين مع بعضهما.

وبالرغم من وجود بروتوكولات معيارية للتعامل مع هذه البيئات كبروتوكول WAVE (Wireless Access Vehicular Environment) المعتمد وفق المعيار IEEE 802.11p ومعيار الشبكات اللاسلكية المتداخلة IEEE 802.11r فإنه ليس هناك إجماع على بروتوكولات التوجيه التي سيتم استخدامها وآلية إدارة الشبكة ليتم تنفيذها.

ونتيجة لذلك فإن العقدة (العربة) لا يمكنها الانتقال من شبكة الى أخرى إذا كانت الطبقات العليا مختلفة بحسب التكنولوجيا المستخدمة في كل شبكة، لكن يمكن حل هذه المشكلة من خلال الشبكات المعرفة برمجياً SDN من خلال برنامج يضم نموذجاً للطبقات العليا لكل بروتوكول للشبكات المستخدمة، ومن ثمَّ يمكن انتقال العقدة من الشبكة لأخرى بسهولة.

ثانياً: تحديد الفروق الأساسية في متطلبات النظام في حالتي الشبكات السلكية التقليدية والشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل[2].

ففي الشبكات السلكية التقليدية يتم التركيز على السرعة ومعدل نقل البيانات كمعيار قياس للأداء، أما في الشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل لا يكفي عامل السرعة فقط، بل يجب التركيز على نقاط أخرى كزمن انتقال العقدة بين الأبراج (المبدلات) ومعدل استهلاك الطاقة وكثير من المعايير الأخرى، لذلك تم التركيز على متطلبات عدة في أثناء تصميم معيار الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً كما يأتي:

- إمكانية دعم الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً للتحكم في دورات التشغيل (duty cycle) أي تقليل استهلاك الطاقة كتحويل موجات الراديو عند عدم استخدامها، ولتحقيق ذلك يتم إيقاف واجهات التشغيل للراديو الموجودة ضمن العقد برمجياً وذلك بوساطة الSDWN .
- إمكانية دعم تجميع البيانات داخل الشبكة ومن ثمَّ تقليل استهلاك الطاقة عن طريق إزالة التكرار من البيانات المتنقلة ضمن الشبكة، حيث يتم تحقيق ذلك ضمن وحدة مناسبة في بينة بروتوكول الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً.
- المرونة في تعريف القواعد مثلاً، الـ Open Flow يدعم تعريف القواعد التي تأخذ بعين الاهتمام حقول TCP/IP, UDP/IP وهذا يسمح بتعريف استراتيجيات توجيه أكثر مرونة من التوجيه التقليدي. بالإضافة الى المرونة في التعامل مع المستشعر اللاسلكي.
- بالإضافة الى معايير تشمل دعم حركة العقد وتغير الطوبولوجيا ومرونة التعامل مع عدم الموثوقية التي تميز الاتصالات اللاسلكية وكيفية التعامل في حال فشل عقد التحكم[2].

ثالثاً: توصيف الحل المقترح لتفعيل مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً ضمن الشبكات اللاسلكية ضيقة النطاق منخفضة معدل النقل.

جرى العمل على تطوير حساسات للشبكة بالاعتماد على المعيار IEEE 802.15.4 للتواصل بين العقد، ووحدة البث الإرسال والاستقبال تُنشر ضمن مجموعة من العقد في الشبكة مع مراعاة إمكانيات الطاقة والمعالجة الحاسوبية.

هناك نوعان من العقد في الشبكة سنوضح بنية كل منهما وفق ما يأتي:

<u>النوع الأول:</u> العقد العامة، تضم الطبقة الفيزيائية والطبقة الـ MAC وفق المعيار IEEE 802.15.4، أما الطبقات الأعلى فهي تختلف، طبقة التمرير يجري فيها معالجة وصول الرزم بوساطة وحدة التحكم وتحافظ أيضاً على تحديث جداول التدفق وفق مبدأ الشبكات المعرفة برمجياً، حيث إن البيانات المدخلة الى جداول التدفق تبنى من خلالها القواعد والإجراءات المناسبة في الشبكة، ومن ثمَّ تحديد المعلومات الإحصائية.

أما الرزم الواصلة للعقد فهي تمرر من خلال طبقة التمرير الى طبقة الـ MAC.

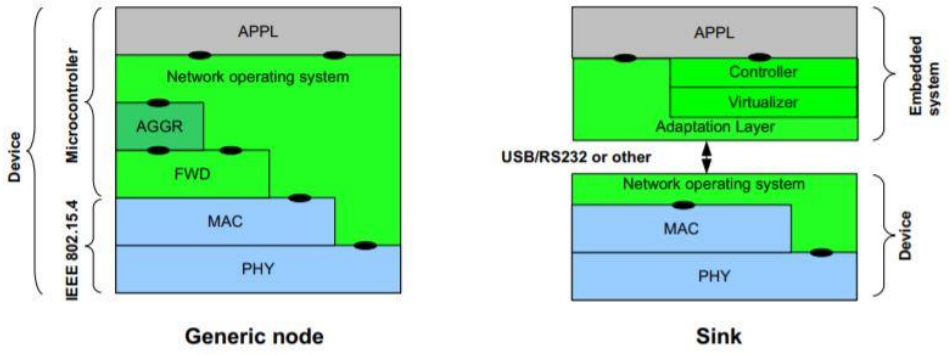
يجري التعامل مع الرزم بحسب نوعها، إذا كانت رزم بيانات تمرر من خلال طبقة التمرير حيث الأخيرة هي المسؤولة إذ تقوم بفحص الرزمة إذا تمت المطابقة لإحدى القواعد في جداول التدفق، في حال التوافق يجري تمرير الرزمة، وإلا تُرسل الرزمة إلى نظام تشغيل الشبكة. أما إذا كانت رزمة تحكم تُرسل من خلال طبقة

التمرير الى طبقة تشغيل الشبكة. يلي طبقة التمرير طبقة التجميع، فهي مسؤولة عن تنفيذ العمل المطلوب لتجميع المعلومات المتدفقة في الشبكة. أخيراً فوق هذه الطبقات نجد طبقة نظام التشغيل الشبكي NOS (Networking Operating System) وهي تعمل فوق طبقات المعيار IEEE 802.15.4، حيث يمكنها النفاذ الى واجهة برمجة التطبيقات API، ومن ثمَّ تمكنها الأخيرة من التحكم في سلوك طبقات البروتوكول المادية والطبقات الجديدة المضافة، أي تسمح بتنفيذ العمليات بين الطبقات.

النوع الثاني: العقدة المسؤولة (Sink Node)، تختلف البنية عن العقد العامة، فإن كل الطبقات موجودة ضمن جهاز واحد للعقد العامة، فالإضافة الى الطبقات المذكورة يضاف في العقد المسؤولة نظام مضمن مبرمج يحتاج الى قدرات أعلى حاسوبياً وأيضاً من ناحية الاتصالات، حيث يعتمد على لينوكس Linux.

يجري التوصيل بين الجهاز والنظام المضمن من خلال وصلة (USB, RS232) أو أي نوع من الواجهات.

يضم النظام المضمن المبرمج على طبقة التكيف، فهي مسؤولة عن تنسيق الرسائل المتبادلة بين أجهزة WPAN، بالإضافة الى طبقة المحاكاة الافتراضية Virtualizer فهي تعتمد على المعلومات التي تم جمعها من قبل العقد العامة لتمثيل ورسم دقيق لطوبولوجيا الشبكة يوضح جميع العقد العامة ووجود الروابط بينها ومستوى الطاقة لكل منها [2]. يوضح الشكل الآتي بنية البروتوكول المقترح كماهو مبين أعلاه.



الشكل (2-3) بنية بروتوكول الحل المقترح

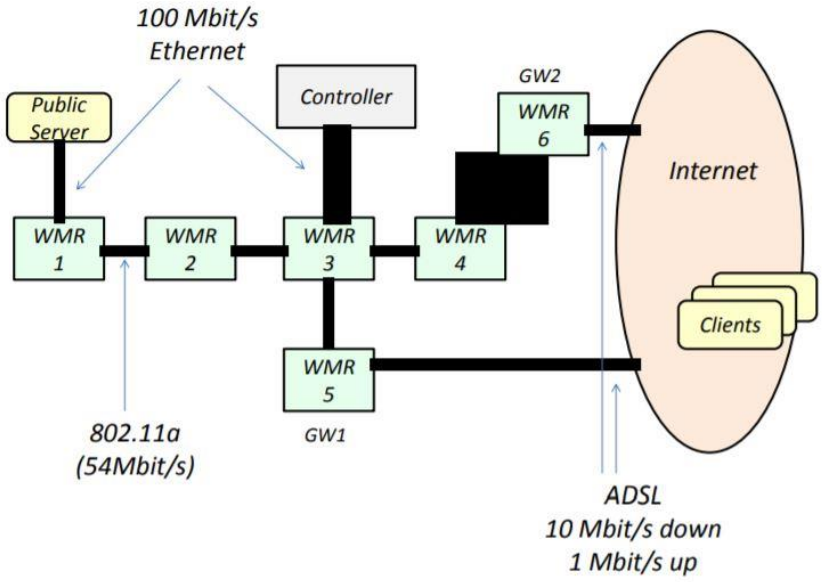
إن الحل المقترح سابقاً يشكل خطوة أولى على طريق تصميم حل متكامل، حيث ما يزال هناك كثير من المشاكل العالقة، ومنها ما يتعلق بالحل المقترح بشكل خاص، كإيجاد قيم أمثلية لبعض المعاملات المستخدمة.

2.4 الشبكات اللاسلكية المتداخلة المعرفة برمجياً WMSDN

أُعدَّ هذه الورقة البحثية أربعة باحثين، اقترحوا فيها حلاً لشبكة لاسلكية من الحساسات (العقد الثابتة)[3].

وجرى التركيز على الاستفادة من مزايا الشبكات المعرفة برمجياً في سهولة إدارة الحركية في الشبكة وتقنيات التوجيه وهندسة نقل البيانات واستخدام الموارد من عرض الحزمة الى الطاقة. لكن واجهوا بعض الصعوبات والعقبات كانخفاض وثوقية القنوات اللاسلكية، وهذا يعطل الاتصال مع المتحكم لفترة مؤقتة، أو عدم توافر آليات التوجيه على مستوى الطبقة الثانية في الشبكات التقليدية كأشجار المسح والتعلم الذاتي للطوبولوجيا، التي هي أكبر مساحة من البيئات السلكية لتدعم الاتصالات بين المبدلات والمتحكم.

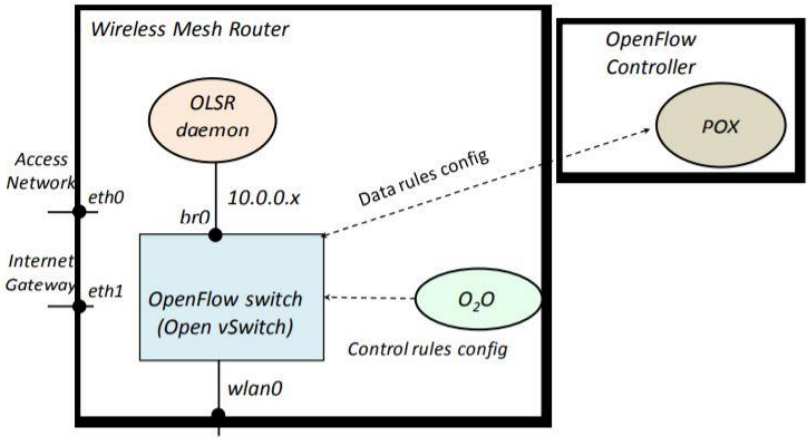
يوضح الشكل الآتي البنية المقترحة لتحقيق الهدف المطلوب:



الشكل (2-4) البنية المقترحة للحل (شبكة OPEN FLOW)

تتألف هذه الشبكة من متحكم ومخدم، ومجموعة من المبدلات التي تدعم مفاهيم الشبكات المعرفة برمجياً والمسماة بالـ WMR، بالإضافة الى مجموعة من الزبائن المتصلين بخطوط ADSL يمكنها النفاذ الى شبكة الإنترنت، أما المكون WMR فهو يتألف من مبدل يدعم الـ Open Flow ومكون مخفي يسمى بـ olsrd الذي يعمل وفق بروتوكول الـ olsrd من أجل حساب أقصر الطرق لبناء جداول التوجيه لكل مبدل عامل في الشبكة، إضافةً الى بنية من القواعد تُعرف الاتصال بين المكونين السابقين، ولهذا المكون اتصال مع المتحكم، وبوابتان خارجيتان واحدة الى النفاذ الخاصة به وواحدة للاتصال بشبكة الإنترنت[3].

نوضح بالشكل الآتي بنية المبدل WMR



الشكل (2–5) بنية المبدل WMR

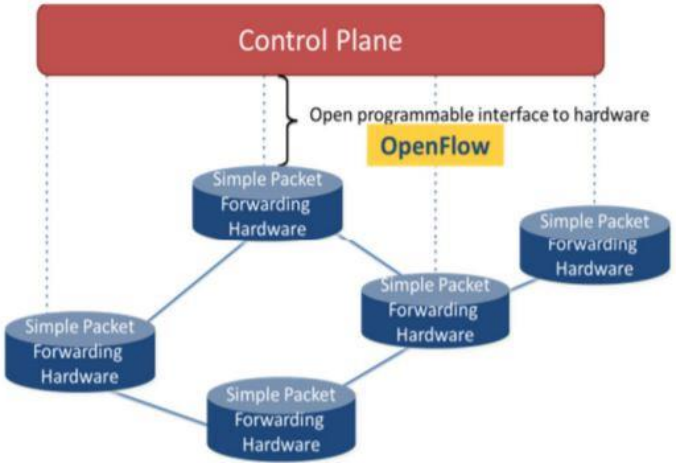
2.5 نحو شبكات العربات المعرفة برمجياً: البنى والخدمات

يقدم الباحثون العاملون على هذه الورقة البحثية حلاً يتجه نحو شبكات العربات المخصصة من أجل تطبيق الشبكات المعرفة برمجياً عليها، تضمنت مقارنة لعمليات التوجيه باستخدام الـ SDN مع التوجيه باستخدام بروتوكولات التوجيه التقليدية ضمن الـ VANET. تضمنت أيضاً نمذجة لآليات التعامل مع انقطاع الاتصال مع المتحكم المركزي عن طريق متحكم عملي محلي في العقد اللاسلكية. يتضمن الحل المقترح لبنية جديدة للبيئة المدروسة بما فيها شرح لبنية شبكة الـ Open FLOW، بالإضافة الى شرح الهدف والغاية من استخدام الشبكات المعرفة برمجياً[4].

الهدف الرئيسي: كيفية استغلال مفاهيم ووظائف ال SDN في شبكات العربات المخصصة VANET لإمكانية استخدام أكثر فعالية للموارد، واختيار أفضل طرق التوجيه، وتسهيل برمجة الشبكة.

والغاية الجوهرية من استخدام الشبكات المعرفة برمجياً هي أنها تفصل بين طبقة التحكم وطبقة تمرير المعلومات، حيث إنَّ الأخيرة تعمل على تمرير الرزم ضمن الشبكة، والأخرى تقوم بالتحكم في تحديد مسارات التوجيه. يجري التنسيق بين طبقتي التحكم وتمرير المعلومات عن طريق واجهة برمجية بين المتحكم وأجهزة التمرير

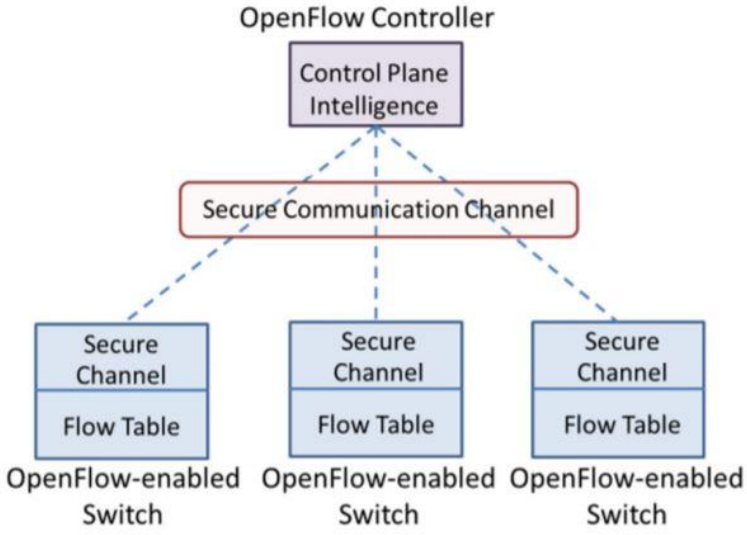
(المبدلات سابقاً)، وتسمى واجهة برمجة التطبيقات (API) ويقوم المتحكم بفرض سلوك أجهزة التمرير من خلال هذه الواجهة، ويأتي OpenFlow من أكثر الأمثلة لهذه الواجهات استقراراً[4].



الشكل (2-6) مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً

تتكون شبكة الـ open flow من قسمين رئيسين: المتحكم، وأجهزة التمرير (مبدلات) سابقاً.

- تمتلك أجهزة التمرير جدولاً أو أكثر للقواعد التي يعتمد عليها في تسيير الرزم، يسمى جدول التدفق، Flow Table حيث تجري المقارنة بين الرزمة الواردة والقواعد المخزنة، عند التطابق يتم تنفيذ أوامر محددة على الرزمة (إزالة، تمرير، تعديل، وغيرها) وذلك اعتماداً على القواعد المحفوظة والمرسلة من المتحكم.
- المتحكم هو تطبيق برمجي يعمل على تعديل جداول التدفق الموجودة في أجهزة التمرير أو المبدلات، حيث إن كل جدول تدفق يتألف من قائمة قواعد، كل قاعدة تتكون من حقول المطابقة، والأولوية، والعدادات، والتعليمات، والوقت الضائع، وملفات تعريف الارتباط، وردود الأفعال الناتجة عنها. وعندما تصل الرزمة الى جهاز التمرير يقوم بالمطابقة بين كل حقل من حقول القاعدة المخزنة مع الرزمة، في حال التطابق تجري معالجة الرزمة وفق القاعدة المخزنة (تمرير، تعديل، وغيرها)، وفي حال عدم التطابق يقوم جهاز التمرير إما بتغليف الحزمة وإعادتها الى المتحكم بوساطة قناة آمنة بينهما، وإما إسقاط الحزمة مباشرة[4].



الشكل (2-7) مكونات OPEN FLOW

إن المتحكم هو المسؤول عن سلوك الشبكة، من خلال إرسال رزم قواعد للتعديل في جداول التمرير (التدفق) الموجودة بأجهزة التمرير. لدى المتحكم طريقتان لإضافة القواعد في الجدول: إما بشكل استباقي، وإما بشكل تفاعلي.

الطريقة الأولى: المتحكم يبادر إلى إضافة القواعد الى جداول التدفق قبل أن ترسل الرزم ضمن الشبكة.

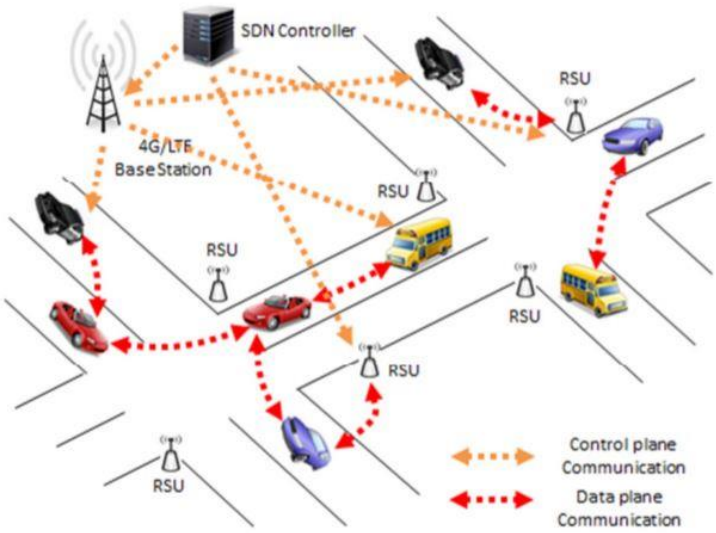
الطريقة الثانية: تتعمد هذه الطريقة على رد فعل المبدل عند ورود رزمة لا تتطابق مع جداول التدفق (التمرير) المخزنة ضمنه، ومن ثمَّ فإنه يقوم بتغليف الرزمة بغلاف التحكم الخاص بالمتحكم وإرسالها اليه، تسمى هذه الرزمة packet in، بناءً على هذه الأخيرة الواردة الى المتحكم يقوم بإرسال تحديث لجداول التدفق الموجودة في المبدلات الشبكة.

تتضمن البنية المقترحة مكونات نظام ال SDN المطبق على شبكات ال VANET كالآتي:

- متحكم: ال SDN النظام المنطقي الذكي الذي تعتمد شبكة ال VANET عليه، يتحكم في سلوك الشبكة بالكامل
- العقد اللاسلكية: هي العناصر التي تتحرك في مستوى البيانات، أي: العربات التي تسيير وفق قواعد التدفق المرسلة من المتحكم لتحسين الأداء.
- وحدات جانب الطرقات RSU: هي العناصر الثابتة في مستوى البيانات، حيث هي البنية التحتية التي نُشرت على الطرقات ويتحكم فيها المتحكم[4].

جرى التعديل على ال SDN لتطبيقها ضمن شبكات العربات المخصصة VANET ، وذلك بتخصيص النطاق الترددي العريض متل (LTE, 4G, WiMAX) لطبقة التحكم، وتخصيص النطاق الترددي المخصص مثل Wi–Fi لطبقة تسيير البيانات. إن السبب الجوهري لاتخاذ هذه الخطوة هو أن العربات ضمن شبكات VANET ليس سهلاً الوصول إليها من قبل وحدات جانب الطرقات RSU.

يوضح الشكل الآتي آلية الاتصال ضمن شبكات ال VANET المطبق عليها ال SDN



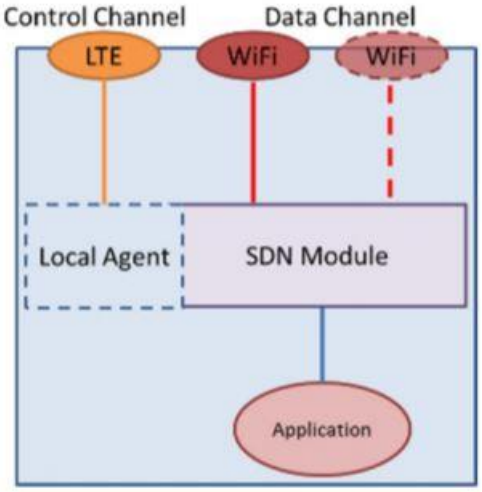
الشكل (2–8) آلية الاتصال ضمن شبكات VANET المطبق عليها SDN

المكونات الداخلية للعقدة اللاسلكية في الشبكة:

تحتوي على جميع الخصائص الوظيفية المتاحة لمبدل تقليدي يدعم ال open flow، إضاقةً الى وحدة برمجية ذكية يسمح بتفعيل أنواع إجرائيات العمل المختلفة (خيارات تشغيل) في شبكات ال VANET.

إن العدد المعين الموجود من واجهات ال wi–fi يستخدم كقناة نقل بيانات بالاعتماد على خصائص التكوين والخدمة التي يجب أن تعتمدها العقدة اللاسلكية المدعومة بال SDN.

وحدة ال SDN (SDN MOUDLE) هي ناتج دمج إجرائيتين، وهي معالجة الرزم وواجهة تقوم باستقبال الدخل من طبقة التحكم المنفصلة.



الشكل (2-9) البنية الداخلية للعقدة اللاسلكية في SDN

تحتوي كل عقدة لاسلكية أيضاً على وكيل SDN محلي، يعتمد وظيفياً على الميزات التي ينتجها له من قبل شبكة SDN، يقوم هذا العميل بالنسخ الاحتياطي لقواعد التحكم، في حال فقدان الاتصال مع المتحكم أو في حال كانت الوحدة البرمجية الذكية تستقبل قواعد التدفق من قبل المتحكم. بروتوكولات التوجيه لشبكات العربات المخصصة التقليدية مثل (GPSR, AODV, DSDV, OLSR) تستخدم الوكيل المحلي local agent كآلية للتراجع في حال الاتصال بمتحكم SDN غير متاح. ومن ثمَّ الوكيل المحلي local agent يمتلك الحد الأدنى من الذكاء للتعامل في هذه الحالات. واحدة من أهم ميزات الشبكات المخصصة هي أن العقدة تعمل كمضيف تستقبل وترسل البيانات، وبنفس الوقت تعمل كموجه بإعادة توجيه حركة المرور نيابة عن عقد أخرى. ومن ثمَّ فإن العقدة SDNاللاسلكية هي بنفس الوقت محطة لإعادة التوجيه في طبقة تمرير البيانات، ومحطة أخيرة لاستقبال البيانات واستخدامها. إن حركة المرور ضمن عقدة SDN اللاسلكية (مثل استخدام تطبيق) سوف تُشغل من وحدة ال SDN (SDN MOUDLE) الخاصة بالعقدة قبل أن تُرسل الرزمة، ومن خلال هذا يسمح للمتحكم أن يحدد سماحية وصول الرزم الى الشبكة[4].

جرى توصيف ثلاثة أنماط عمل مختلفة:

1- (وضع التحكم المركزي): يكون المتحكم مسؤولاً عن جميع عمل الأجزاء الرئيسة في الشبكة (عقد SDN اللاسلكية، ووحدات جانب الطرقات RSU) أي إنَّ كل الإجراءات التي تقوم بها العقد اللاسلكية في طبقة تمرير البيانات تكون محددة بوضوح من قبل المتحكم، وكما هو موضح بالشكل الآتي فإن المتحكم يرسل كل قواعد التدفق التي توضح كيفية حركة المرور.

2- (وضع التحكم الموزع): في هذه الحالة فإن عقد SDN اللاسلكية ووحدات جانب الطرقات RSU لا تعمل تحت توجيهات متحكم SDN في أثناء تسليم الرزم، جوهر هذا النمط يشابه الى حد كبير التنظيم الذاتي التقليدي للشبكة الموزعة دون إضافة ميزات ال SDN ماعدا وجود الوكيل المحلي local agent في عقد ال SDN اللاسلكية يتحكم في سلوك العقد الفردية (مثل تشغيل توجيه GPSR).

3- (وضع التحكم الهجين): فإن المتحكم لا يقوم بالسيطرة الكاملة في الشبكة، وإنما يقوم بتفويض الوكيل المحلي local agent في تفاصيل معالجة الرزم، لذلك تجري عملية التحكم في حركة المرور بين جميع عناصر الشبكة. للتوضيح أكثر نذكر مثالاً: إن المتحكم لا يرسل قواعد التدفق بالكامل، وإنما يرسل القواعد العامة التي تحدد السلوك العام لحركة الرزم، وعقد SDN اللاسلكية ووحدات جانب الطرقات RSU تستخدم الوكيل المحلي local agent في إعادة توجيه الرزم وقواعد التدفق في طبقة التحكم، أي أن متحكم ال SDN يعطي أوامر لعقدSDN اللاسلكية ووحدات جانب الطرقات RSU في تشغيل إجرائية توجيه معنية وفق معلنات محددة منه.

وتعليم طوبولوجيا الشبكة أمر هام جداً بالنسبة إلى المتحكم، وذلك حتى يتمكن من اتخاذ قرار مناسب وفعال. لذلك تستخدم رسالة ترحيبbeacon massage، وهي سمة مشتركة في شبكات العربات المخصصة حيث أنه سيجري تبادل هذه الرسالة بين العقد اللاسلكية للشبكة، ومن ثمَّ معرفة الجيران المرتبطين بشكل مباشر مع كل عقدة، ويتم تحديث المعلومات بشكل دوري الى المتحكم، والذي بدوره هذا الأخير يستخدم هذه المعلومات المحدثة في رسم خط بياني لتوصيل العقدة، واتخاذ القرارات المناسبة مثل اختيار مسارات توجيه الرزم بفعالية ضمن الشبكة، ومن ثمَّ هذه الآلية من العمل ستوفر كثيراً من المزايا وخاصةً في إدارة حركة المرور للشبكة.

سوف تمرر هذه الرسائل ضمن بروتوكول اكتشاف الطبقة LLDP Link Layer Discovery Protocol المستخدم عادة في الشبكات المعرفة برمجياً السلكية Wired SDN Networks.

يوفر الحل المقترح في هذه الورقة ثلاث فوائد مهمة، وهي:

تحديد المسار: إن الشبكات المعرفة برمجياً لديها القدرة والذكاء في اتخاذ قرارات التوجيه الأكثر فعالية وخاصة في شبكات العربات المخصصة، حيث إن هذه الأخيرة تعاني حركة المرور فيها من عدم توازن إما، بسبب اتخاذ أقصر طرق التوجيه بالاعتماد على بعض العقد فقط، أو بسبب استخدام تطبيق (فيديو مثلاً) حيث يستهلك نطاقاً ترددياً كبير ضمن المسار، ومن ثمَّ فإنّه بوجود المتحكم ضمن الشبكة يمكن ملاحظة عدم التوازن هذه والبدء بعملية إعادة توجيه لحركة المرور لتحسين أداء الشبكة وتقليل الازدحام.

تحديد نطاق التردد/القناة: يمكن للعقد SDN اللاسلكية استخدام واجهة لاسلكية تمتلك أكثر من موجة راديو، في هذه الحالة يمكن لشبكات العربات المخصصة استخدام ال SDN التنسيق والاستخدام الأفضل لقناة أو نطاق ترددي معين، ومن ثمَّ المتحكم يقرر بشكل ديناميكي في أي وقت، وأي واجهة لاسلكية/ تردد معين تستخدم في حركة المرور لرزمة ما، وأيضاً يمكن حجز قناة لاسلكية أو تردد معين لخدمة حالات الطوارئ في الشبكة.

اختيار الطاقة: تستطيع شبكات العربات المخصصة المبنية على الشبكات المعرفة برمجياً أن تقوم بجمع معلومات منطقية عن الطاقة اللازمة لبطاقات الشبكة اللاسلكية، وتحديد قدرة ومجال الإرسال اللاسلكي وذلك لضمان عدم حصول تعارض في الموجات اللاسلكية وتأكيد وصول الرزم المرسلة بشكل صحيح. مثلاً يستطيع المتحكم أن يجمع المعلومات المنطقية عن العقد المجاورة للعقد اللاسلكية، ويحدد مدى تباعدها عن بعضها وتقليل استهلاك الطاقة اللازمة مع ضمان وصول الرزم بفعالية[4].

الخدمات التي تقدمها الشبكات المعرفة برمجياً عندما تطبق على شبكات العربات العشوائية:

1- خدمة الأمان المدعمة من خلال SDN:

إن بروتوكول V2V جزء أساسي من أمن شبكات العربات المخصصة، ومن ثمَّ سوف نستعرض بالمقارنة كيفية تحسين خدمة الأمان عند تطبيق الشبكات المعرفة برمجياً على شبكات العربات المخصصة، وشبكات العربات المخصصة التقليدية. تقدم تقنية SDN إمكانية حجز وتحديد ترددات خاصة لحركة مرور مخصصة للطوارئ أو لصلاحية معنية (الأمن) بطريقة ديناميكية وهذا الفرق بينها وبين الحجز بالأسلوب التقليدي حيث متحكم ال SDN لديه الإمكانية بتعيين التدفق لهذه الترددات المحجوزة أو إزالتها على حسب حركة المرور الحالية للشبكة ومتطلبات التطبيق المستخدم، وأيضاً يمكنه تقديم أكثر من مستوى للخدمات على أساس السياسات المطبقة بالشبكة أي خلال فترة الطوارئ يقوم بتغيير التدفق في حركة المرور ويعطي الأولوية للرزم الخاصة بالطوارئ على حساب حركة المرور للرزم العادية.

2- مراقبة الشبكة بالاعتماد على SDN

يجري تقديم خدمة مراقبة سيارات الطوارئ ضمن نطاق جديد، وتقديم البيانات الخاصة بالمراقبة بسهولة وكفاءة. في البنيات التقليدية، يجب على مقدم الطلب (سيارة شرطة مثلاً) إرسال طلب الى بيانات المراقبة أو إرسال إذاعة بحث في حال عدم معرفة مقدم الطلب للبيانات.

أما في حالة ال SDN يجري تنفيذ الطلب فورا من قبل متحكم SDN حيث يدخل قواعد التدفق لبيانات المراقبة للوصول الى العقد المطلوبة، عندما يكون أكثر من عقدة تطلب نفس بيانات المراقبة في الوقت

نفسه (أكثر من سيارة شرطة تطلب تغذية مراقبة الفيديو) تقوم وحدة التحكم بإرسال نفس النسخة إلى العقد المستقبلة معاً، ومن ثمَّ العقد (سيارات الطوارئ) تستخدم بيانات المراقبة بجودة وكفاءة أعلى ضمن الشبكة.

3- خدمة المحاكاة الافتراضية للشبكة اللاسلكية:

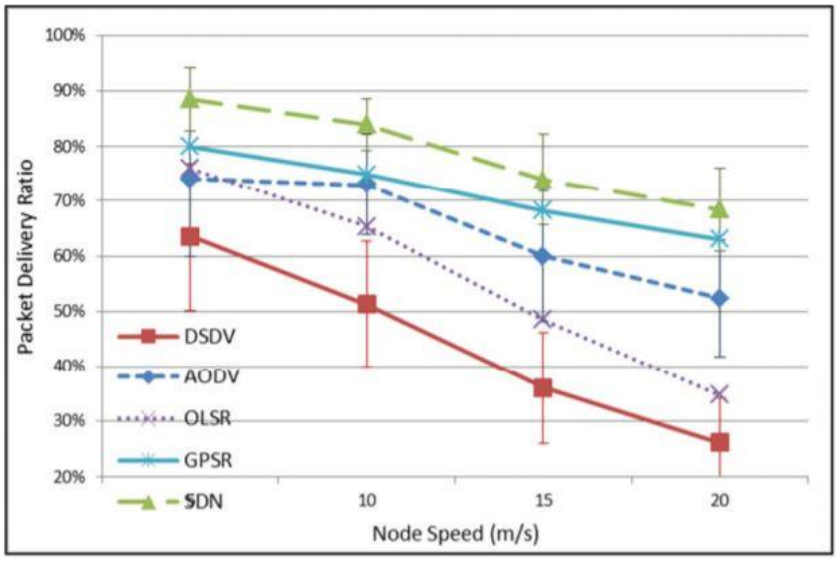
تهدف هذه الخدمة إلى توفير شبكات لاسلكية منطقية افتراضية عبر مشاركة موارد الشبكة المادية، حيث جرى توفيرها في مراكز البيانات من خلال SDN. الفكرة هنا السماح للتدفق باختيار مختلف الموجات الراديوية والواجهات باستخدام ترددات مختلفة، حيث ترددات الراديو التي تستخدمها من قبل كل شبكة فردية معزولة منفصلة عن باقي الترددات، ومن ثمَّ فإن التدفق وحركة المرور للرزم لكل شبكة فردية يكون معزولاً، بالنتيجة جرى تقطيع الشبكة بشكل فعال وإنشاء شبكات لاسلكية افتراضية منطقية.

يجري تجميع الشبكات اللاسلكية افتراضية ضمن مجموعات، وتقوم كل وحدة جانب الطرقات RSU بإعادة توجيه مجموعة مختارة من الشبكات اللاسلكية افتراضية. وبأسلوب أكثر تقدماً إمكانية استخدام تقطيع الزمن OFDM، حيث متحكم ال SDN مسؤول عن اختيار كل شبكة افتراضية ل موجة راديوية أو واجهة خاصة بتردد معين فترة مخصصة من الوقت، وهذا يجعل إمكانية تخصيص التدفق وحركة المرور بأسلوب قابل للبرمجة.

إن مفهوم تقطيع الوقت OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) من أجل توزيع طيف بكفاءة يمكن استخدامها في شبكات LTEالتي تستخدمها شبكات المعرفة برمجياً المطبقة على شبكات العربات المخصصة (Software Defined VANET) التي تسمح خلال كل تقسيم زمني معين لشبكة اللاسلكية الافتراضية. إذا توفرَّ أكثر من موجة راديوية واجهة يمكن دعم أكثر من شبكة لاسلكية افتراضية في نفس الفترة الزمنية، مثلاً في نظام الاتصال الذكي ITS يجري النقل بالتبادل بين ترددين F1,F2 وفق تقنية MPEGDASH بالإضافة إلى ذلك يمكن لمتحكم ال SDN وضع مرشحات على مدخلات العقد حيث يمكن لكل عقدة أن ترفض بعض فئات لحركة المرور والتدفق مثلاً، ويستخدم هذا الأسلوب لتقيد انتشار حركة بث الفيديو في عربات إنقاذ القانون Law enforcement vehicle كسيارات الشرطة والاطفاء وغيرها، وهكذا ينتشر ضمن النطاق المسموح وليس نطاق بث في كل الشبكة. إن تصفية الإدخال لحركة المرور Traffic ميزة فريدة من نوعها في الشبكات اللاسلكية ويمكن استخدامها في مراقبة شبكات العربات المخصصة VANET.

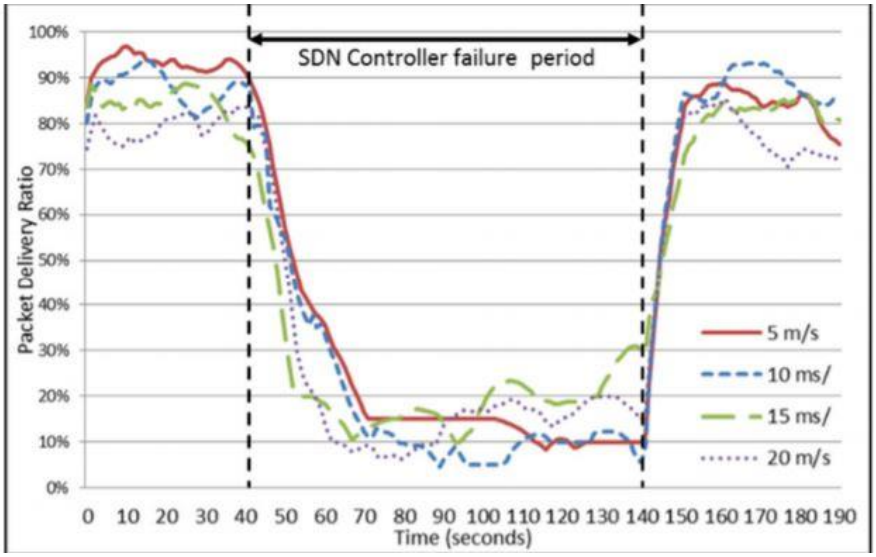
استخدم الباحثون تجربة محاكاة باستخدام أداة NS3 من أجل مقارنة أداء بروتوكولات التوجيه التقليدية في شبكات العربات مع حالة الشبكات المعرفه برمجياً وخرجوا الى النتائج الآتية:

معدل وصول الطرود في حالة الشبكات المعرفة برمجياً أفضل من أي من بروتوكولات التوجيه التقليدية مع تغير السرعة كما يوضح الشكل الآتي ذلك.



الشكل (2-10) مقارنة أداء بروتوكولات التوجيه التقليدية مع SDN

وكذلك أُجرِيَت محاكاة لتحديد سرعة استجابة الشبكة في حال تعطيل المتحكم وتأثير ذلك في معدل الطرود وعلاقة ذلك بسرعة تحريك السيارة. يظهر الشكل الآتي أن الشبكة بحاجة الى فترة زمنية مدتها تقريباً 10 ثوانٍ لاستعادة الأداء بغض النظر عن سرعة التحرك، وفي حال تعطل المتحكم تمر الشبكة بفترة انحدار في الأداء حتى 30 ثانية وبعدها يستقر الأداء في الشبكة[4].



الشكل (2-11) مخطط يوضح مدة انهيار الشبكة في حال تعطل المتحكم

3 الفصل الثالث: الدراسة النظرية

3.1 المقدمة:

نستعرض في هذا الفصل الدارسات النظرية المتعلقة بهذا البحث.

نبدأ أولا بالشبكات المعرفة برمجياً والطبقات التي تتضمنها بالتفصيل، ثم نستعرض بعدها شبكات العربات العشوائية خاصة في التوجيه وبروتوكولات التوجيه التقليدية بكافة أنواعها.

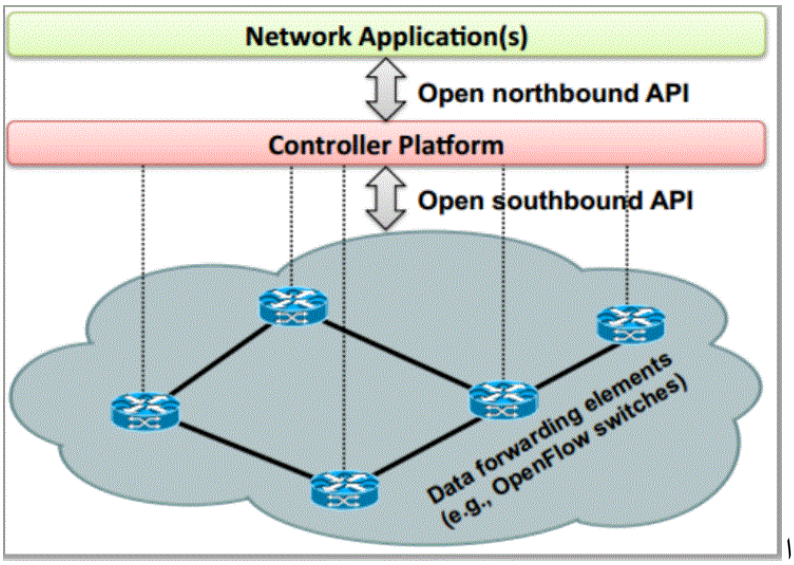
ثم ننتقل الى تاريخ شبكات الاتصال والأجيال التي مرت فيها وصولاً الى شبكات الجيل الرابع ومميزاتها وشبكات الجيل الخامس.

3.2 الشبكات المعرفة برمجياً **SDN:**

تعد شبكات IP التقليدية شبكات معقدة وصعبة الإدارة على الرغم من انتشارها الواسع، وهذا يضطر مديرُ الشبكة إلى تحديد إعدادات العمل لكل جهاز بمفرده باستعمال تعليمات ذات مستوى منخفض وغالبا ما تكون هذه التعليمات مختلفة وخاصة بكل نوع من أنواع هذه الأجهزة.

بالإضافة الى ذلك، يجب على البيئات الشبكية أن تتعامل مع تغيرات في معدلات الأخطاء والحمل الشبكي بشكل مستمر، ولا توجد حالياً أنظمة استجابة تلقائية في الشبكات التقليدية الحالية، لذلك يعد تطبيق السياسة المطلوبة في بيئة ديناميكية على قدر من التحدي. لزيادة سوء الأمور فإن الشبكات الحالية متكاملة عمودياً، أي أن طبقة التحكم (control layer) التي تتحكم بسير الطرود والمعلومات وطبقة التمرير التي تسير المعلومات وفقاً لقرارات طبقة التحكم، متموضعتان في نفس الأجهزة الشبكية (الموجهات) مثلاً وهذا ما يقلل من المرونة ويزيد من عملية التعقيد في تطوير البنية التحتية للشبكات[8].

تأتي الشبكات المعرفة برمجياً بارقة أمل لتجاوز محدودية وقيود الشبكات التقليدية، فيُكسر في المقام الأول التكامل العمودي وذلك بفصل طبقتي التحكم وتمرير المعلومات، وبذلك تصبح المبدلات والموجهات مجرد أجهزة بسيطة، ويجري التحكم بكامل الشبكة في وحدة تحكم مركزية منطقية وذلك كما في الشكل



الشكل (3-1) المفهوم العام للشبكات المعرفة برمجياً SDN

يجدر بالذكر أن المركزية المنطقية لوحدة التحكم لا تفرض وجود وحدة تحكم فيزيائية، وإنما العكس، فالحاجة إلى ضمان أداء جيد وموثوقية وقابلية توسع ترفض في هذا التصميم، ولذا يتم اللجوء إلى نموذج طبقة تحكم موزعة.

يجري التحكم بين طبقتي التحكم وتمرير المعلومات عن طريق واجهة برمجية بين المتحكم وأجهزة التمرير (المبدلات سابقاً)، وتسمى واجهة برمجة التطبيقات (API) ويقوم المتحكم بفرض سلوك أجهزة التمرير عبرها، ويأتي OpenFlow أكثر الأمثلة استقراراً لهذه الواجهات، تمتلك المبدلات جدولاً أو أكثر للقواعد التي يعتمد عليها في تسيير الرزم يسمى جدول التدفق Flow Table ، ضمن هذا الجدول تجري المقارنة حيث كل قاعدة تتطابق يتم تنفيذ أوامر محددة على الحزمة (تعديل، إزالة، تمرير، وغيرها) وذلك اعتمادا على القواعد المحفوظة والواردة من المتحكم[8].

على الرغم من أن نشوء الشبكات المعرفة برمجياً جرى بشكل أكاديمي إلا أنَّها دخلت مجال الصناعة بشكل واسع، فإن معظم المصنعين يوفرون دعماً لها في التجهيزات المصنعة. يكفي معرفة أن أكبر الشركات في العالم مثل (Google, Microsoft, Telekom, Deutsche, Yahoo, Facebook)قامت بتمويلONF (Open Networking Foundation) لتطوير الشبكات المعرفة برمجياً وذلك لتصميم معايير موحدة مفتوحة.

لقد قامت Google باستخدام الشبكات المعرفة برمجياً SDN في ربط مراكز المعلومات لديها حول العالم، وهذا ساعد على تحسين كفاءة العمل وتخفيض التكاليف بشكل كبير.

3.2.1 تعريف الشبكات المعرفة برمجياً:

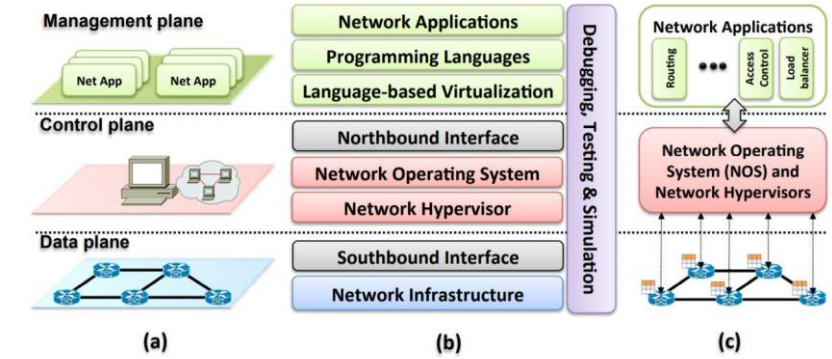
هي مصطلح استخدمته جامعة ستانفورد للتعبير عن بنية شبكية يجري فيها التحكم بعملية تسيير المعلومات من خلال طبقة تحكم منفصلة عن طبقة تمرير البيانات، علماً أن هذا المفهوم تتطور كثيرا عبر الوقت، لكن يمكن تلخيصه وفق ما يأتي:

فصل طبقة التحكم عن طبقة تمرير وتسيير البيانات، أي: أجهزة الشبكة تصبح مجرد أجهزة تسيير بسيطة غير معقدة، أما وظائف التحكم فهي مسؤولية المتحكم.

قرارات تمرير البيانات هي قرارات تعتمد على التدفق (يُعرف بأنه مجموعة الرزم الصادرة من مصدر معين إلى هدف معين) وليس على الهدف[8].

3.2.2 بنية الشبكات المعرفة برمجياً:

سنتعرف على بنية الشبكات المعرفة برمجياً وطبقاتها بالتفصيل من الطبقة الأولى (طبقة البنية التحتية) إلى الطبقة الثامنة (طبقة التطبيقات الشبكية).



Software-Defined Networks in (a) planes, (b) layers, and (c) system design architecture

الشكل (3-2) طبقات وبنية النظام في الشبكات المعرفة برمجياً

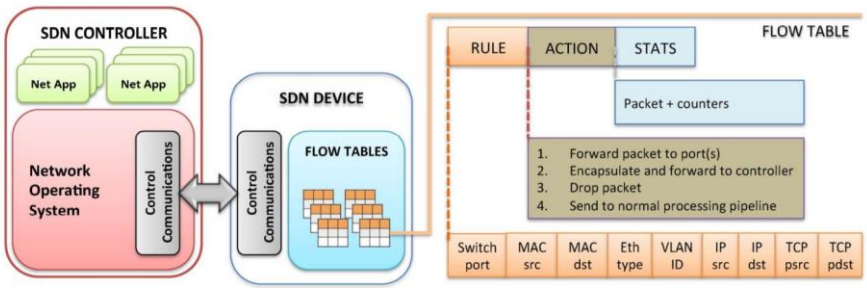
يبين الشكل طبقات الشبكات المعرفة برمجياً من منظور ثلاثي الأبعاد، يتحدث الشكل الأول من اليمين عن معمارية التصميم في النظام، والشكل الثالث من اليسار عن مستويات الشبكة (التحكم والإدارة والمعطيات)، أما الشكل في المنتصف فهو يوضح الطبقات للشبكات المعرفة برمجياً وهي ثمانية: طبقة البنية التحتية، طبقة الواجهة الجنوبية، طبقة مراقبة الشبكة، طبقة نظام التشغيل الذكي، طبقة الواجهة الشمالية، طبقة التمثيل الافتراضي المعتمد على اللغة، طبقة لغات البرمجة، طبقة التطبيقات الشبكية، سنتحدث بالتفصيل عنها[8].

3.2.2.1 الطبقة الأولى طبقة البنية التحتية:

تتألف من التجهيزات الشبكية (موجهات، مبدلات، وأجهزة وسيطة أخرى)، يتمحور الدور الأساسي لها ويميزها عن الوظيفة التقليدية لها بأنها تقوم بدور أجهزة التمرير دون القدرة على اتخاذ أي قرار تحكم.

جرى الاتفاق على إنتاج تجهيزات هذه الطبقة بناءً على واجهات موحدة ومفتوحة المصدر (open flow)، من أجل تسهيل عمليات التوافق بين أجهزة طبقتي المعطيات والتحكم، وهذا يسهل على أجهزة التحكم إدارة أجهزة التمرير حتى لو كانت متمايزة المصدر، وهذا أحد أهم الأمور التي تنقص الشبكات التقليدية التي تعتمد على بنى مغلقة المصدر وطبقة تحكم موزعة بشكل واسع.

في بنية open flow\SDN تتألف من نوعين من العناصر أجهزة التحكم وأجهزة التمرير، وكما هو مبين بالشكل الآتي أجهزة تمرير المعطيات ممكن أن تكون جهاز مادي أو مكون برمجي متخصص في إعادة توجيه الرزم، أمّا أجهزة التحكم فهي مجموعة من البرمجيات (دماغ ذكي) يتم تنصيبها أو تنزيلها على أجهزة مادية.



الشكل (3-3) أجهزة SDN التي تدعمOpenFlow

تعتمد أجهزة التمرير التي تدعم open flow على خط تدفق الجدول، حيث إنَّ كل عملية إدخال لجدول التدفق تجري وفق ثلاث خطوات أولاً: قاعدة المطابقة، ثانياً: الإجراءات المطلوب تنفيذها عند المطابقة للرزم، ثالثاً: عدادات تحتفظ بإحصائيات الرزم عند المطابقة.

داخل كل جهاز يدعم open flow آلية مسار معنية تحدد لجدول التدفق كيفية التعامل مع الرزم، عند وصول رزمة جديدة، تجرب عملية البحث ضمن جداول التدفق عن قاعدة توافق شروطها الرزمة القادمة، وتنتهي العملية إما بالوصول الى القاعدة المناسبة وإمّا بعدم الوصول إليها، وفي حال لا يوجد قاعدة افتراضية يجري تجاهل الرزمة، لكن يفترض أن تبنى قاعدة افتراضية وهي إعادة توجيه الرزمة إلى المتحكم أو إلى أي قناة أخرى تعمل بالنمط التقليدي للشبكات (عبر open flow).

الأولويات تنفذ وفق الترتيب الطبيعي لأرقام جداول التدفق وترتيب السطور ضمن الجدول الواحد.

يوجد العديد من القرارات يمكن تطبيقها وفق القاعدة الملائمة للرزمة، تمرير الرزمة الى البوابة المحددة في القاعدة المذكورة، أو إهمالها وتجاوزها، أو تمريرها الى جدول التدفق الآتي أو جدول ما، أو تغليف الرزمة وإرسالها إلى المتحكم، أو إرسالها عبر القناة التقليدية[8].

3.2.2.2 الطبقة الثانية: طبقة الواجهة الجنوبية

هي صلة الوصل التي تربط عناصر التحكم وتمرير المعطيات، فإن هذه الطبقة مرتبطة بشكل كبير بأجهزة تمرير المعطيات سواء كانوا من طبقة البنية التحتية المادية أم الافتراضية.

هذه الطبقة تمثل أحد الحواجز الرئيسة في قبول أي تقنية جديدة في الشبكة عموما، في ضوء ذلك ظهرت كثير من الحلول أشهرها Open Flow حيث يعتمد بشكل كبير على التكامل بين الأجهزة للشبكة بغضِّ النظر عن صانعيها. وهذا واضح من خلال التجهيزات الداعمة ل Open Flow من مختلف الصنعيين.

يوجد كثير من الحلول غير ال Open Flow، هنالك عدة مقترحات أخرى مثل OVSDB، [10][9]POF والعديد من الأمثلة الأخرى.

يقدم بروتوكول Open Flow ثلاثة مصادر لمعلومات نظام التشغيل الشبكي، أولها المعلومات المتعلقة بالأحداث (تغير حالة الوصلة، أو حالة البوابة)، وثانياً الإحصائيات المستمرة من أجهزة التمرير حيث يتم تجميعها من قبل المتحكم، وأخيراً هذا المصدر هو نمط خاص من الرزم تسمى packet in يتم إرساله من أجهزة التمرير إلى المتحكم عند وجود تدفق غير معروف (رزمة ما)، وفق هذه القاعدة يقوم جهاز التمرير بتمرير هذه الرزمة المجهولة إلى المتحكم للتعامل معها[8].

أما بروتوكول OVSDB فهو نوع أخر من API application programming interface مصمم خصيصاً ليزود open virtual switch خصائص متقدمة في الإدارة، رغم أن بروتوكول open flow لديه القابلية لإعداد سلوك التدفق (حركة المرور) في أجهزة التمرير، إلا أن بروتوكول OVSDB يمنح وظائف إضافية ل open virtual switch فهو يسمح لأجهزة التحكم بإنشاء أكثر من مبدل افتراضي على open virtual switch، واستخدام السياسيات المتعلقة بجودة الخدمة للواجهات، وحجز الواجهات لكل مبدلة، وإعداد الواجهات التي تمر من خلالها رزم البيانات الخاصة بالبروتوكول OpenFlow ، وإدارة الرتل وتجميع البيانات الإحصائية[11] .

ومن ثمَّ نجد أن بروتوكول OVSDB هو بروتوكول مكمل ل OpenFlow من أجل open virtual switch.

أما بروتوكول POF فهو أحد المنافسين المباشرين لبروتوكول OpenFlow، إن أهم النقاط التي يركز عليها هذا البروتوكول هو تحسين وتعزيز آلية تمرير رزم البيانات في أجهزة التمرير لشبكة SDN.

يقدم بروتوكول POF مجموعة من التعليمات (FIS) لسير التدفق في أجهزة التمرير، حيث إن الأخيرة لا تحتاج إلى معرفة أي شي عن تنسيق الرزمة (التدفق) مسبقاً، وإنما هذه التجهيزات تتعامل مع الرزم كأنها مربعات بيضاء لا تعرف محتواها وإنما لديها القدرة على تمريرها وإعادة توجيها فقط.

في POF وظيفة تحليل الرزمة مسؤولية تجهيزات التحكم بالشبكة ونتيجة هذا التحليل يتم تشكيل سلسلة من المفاتيح العامة للبحث ضمن جداول التدفق، لذلك نجد أن سلوك أجهزة التمرير يخضع بالكامل لتجهيزات التحكم لشبكة SDN وهذا الأسلوب المتبع يشابه أسلوب وحدة المعالجة المركزية في الحاسب [10][9].

3.2.2.3 الطبقة الثالثة: طبقة مراقب الشبكة

إن الحاجة الى العالم الافتراضي ضرورة تتزايد يوماً بعد يوم، بناءً على تقارير عدة تعطي أن عدد المخدمات الافتراضية تجاوز فعلياً عدد المخدمات المادية الحقيقية.

يزود مراقب الشبكة للتجهيزات الافتراضية إمكانية التشارك للبنيان التحتي المادي، كما في البنية التحتية السحابية (خدمة IaaS)، ورغم الانتشار الواسع للتقنيات الافتراضية في مجال الحوسبة والتخزين الافتراضيين، فإن الشبكات الافتراضية ماتزال تنجز بطريقة قليلة المرونة مثلاً التجهيزات الافتراضية يجب أن تمتلك نفس عناوين الشبكة للبنيان المادي التحتي، فلا يمكن للتجهيزات الافتراضية أن تستخدم IPv6 إلا إذا كان البنيان التحتي للشبكة يدعم ذلك.

يعتقد بعضهم أن التقنيات الافتراضية الموجودة حالياً (كالنطاقات الافتراضية VLANs في الطبقة الثانية، وفضاء العنونة الافتراضي بتقنية NAT والمسارات الافتراضية من خلالMPLS) كافية لتقديم خدمة الشبكات الافتراضية، لكن يمكن قول ذلك إذا كانت تعمل التقنيات بطريقة تتابعية، علما أنه لا توجد طريقة واحدة جامعة للقيام بذلك. ومن ثمَّ نجد أنّه يتطلب وقتاً طويلاً للقيام بتعريف وتشغيل الشبكات الافتراضية بالمقارنة بالوقت اللازم لتشغيل وتعريف نموذج للحوسبة الافتراضية.

يعد Flow Visor من أوائل التقنيات الافتراضية المستخدمة في SDN، الفكرة الأساسية لها هي السماح للشبكات الافتراضية المتعددة المشاركة في البنيان التحتي المادي لشبكة Open Flow، وبهذا الغرض يتم إضافة طبقة تجريد منطقية تساعد في تقسيم طبقة التمرير بسهولة. وهذا يسمح بتفاعل شبكات متنوعة ومتعددة مع بعضها أي وجودها معاً.

يعتمد Flow Visor على خمسة أنواع من الشرائح: النطاق الترددي، والطوبولوجيا، وحركة المرور، ووحدة المعالجة المركزية للجهاز، وجداول إعادة التوجيه.

يمكن أن يوجد المتحكم ضمن شريحة شبكة، ويمكن تعريف الشريحة على أنها مجموعة من التدفقات ضمن طبقة تمرير البيانات من وجهة نظر التصميم. حيث يمكن اعتبار Flow Visor مخدماً وكيلاً شفافاً يعترض رسائل Open Flow بين أجهزة التمرير والمتحكم فهو يفصل بين عرض النطاق الترددي وجداول التدفق لكل جهاز تمرير (مبدل سابقاً) حيث كل شريحة تتلقى أقل معدل البيانات، وكل متحكم يتلقى جدول التدفق الافتراضي الخاص بأجهزة التمرير.

أما Open VirteX فهو وكيل بين نظام التشغيل الشبكي وأجهزة التمرير. هدفه الرئيس توفير شبكات معرفة برمجياً افتراضية من خلال الانتقال عبر الطوبولوجيا والعناوين وتوابع التحكم الافتراضية.

هذه الخصائص المتوفرة ضرورية للبيئات متعددة المجالات التي تحتاج إلى إدارة الشبكات الافتراضية وفق الحوسبة والتخزين الافتراضيين.

إن Auto Slice يختلف عن Flow Visor، إنه يركز على أتمتة عملية تطبيق وتقديم الشبكات المعرفة برمجياً مع أقل قدر ممكن من التدخل من قبل مدير الشبكة أو النظام.

3.2.2.4 الطبقة الرابعة: طبقة نظام التشغيل الشبكي أو المتحكم

توفر نظم التشغيل الحاسوبية التقليدية طبقة التجريد (واجهة برمجة التطبيقات عالية المستوى) للوصول الى الأجهزة ذات المستوى المنخفض (ذواكر، وحدة المعالجة المركزية، وغيرها)، وإدارة الوصول المتزامن للموارد الحاسوبية وتوفير الحماية الأمنية، هذه الوظائف والموارد المتاحة تسهم في زيادة الإنتاجية، وهذا يجعل حياة دورة النظام والتطبيقات أسهل بالنسبة إلى المطورين.

أمّا بالنسبة إلى الشبكات فيجري إدارتها باستخدام تعليمات ذات مستوى منخفض وخاصة بكل جهاز وحده، فماتزال فكرة تجريد العمليات والوظائف الشبكية غائبة، لذلك يضطر خبراء الشبكات إلى التعامل مع نفس المشكلة مراراً وتكراراً.

إن الشبكات المعرفة برمجياً تقدم حلاً لمشكلة الشبكات المذكورة، وتخفيف الأعباء المفروضة على المطورين عبر التحكم المركزي المنطقي الممثل بنظام التشغيل الشبكي NOS Network Operating System.

يقدم نظام التشغيل الشبكي خدمات أساسية وواجهات برمجة التطبيقات الشائعة للمطورين. نذكر من هذه الخدمات خدمة تحصيل معلومات الشبكة وحالتها، معلومات طوبولوجيا الشبكة، إدارة الشبكة الموزعة، والتعرف على الأجهزة المرتبطة.

أصبحت إمكانية تعريف سياسات الشبكة متاحة، من دون الحاجة إلى المطورين للاهتمام بهذه التفاصيل باستخدام التعليمات ذات المستوى المنخفض لتوزيع البيانات بين أجهزة التمرير.

إن نظام التشغيل الشبكي NOS العنصر الرئيس في الشبكات المعرفة برمجياً لأنها قطعة الدعم الأساسية للتحكم وبناء وتكوين الشبكة بناءً على السياسات التي يحددها نظام التشغيل الشبكي، على غرار الأسلوب التقليدي للشبكة يكمن التحكم باستخدام التعليمات ذات المستوى المنخفض للتوصيل والتفاعل بين أجهزة الشبكة.

إن بنية المتحكم يمكن بناؤها اعتماداً على جوانب عدة، من أهمها بنية مركزية أو موزعة، وهذه من أهم النقاط الواجب الانتباه لها عند تصميم نموذج للشبكات المعرفة برمجياً.

عندما تكون بنية المتحكم مركزية، عادة يشكل نقطة فشل للنظام فيسبب مشكلات نظراً إلى قابلية التوسع المحدودة فإن وحدة تحكم واحدة لا تكون كافية للتحكم بعدد كبير من أجهزة التمرير، ومن الأمثلة على المتحكمات المركزية NOX–MT, Beacon, Floodlight.

يتم تصميم هذه المتحكمات كنظم عالية التزامن لتوفير مقومات الأداء المطلوب، مثلاً يمكن لمتحكم Beacon معالجة 12 سطر تدفق باستخدام عقد سحابية عملاقة من Amazon.

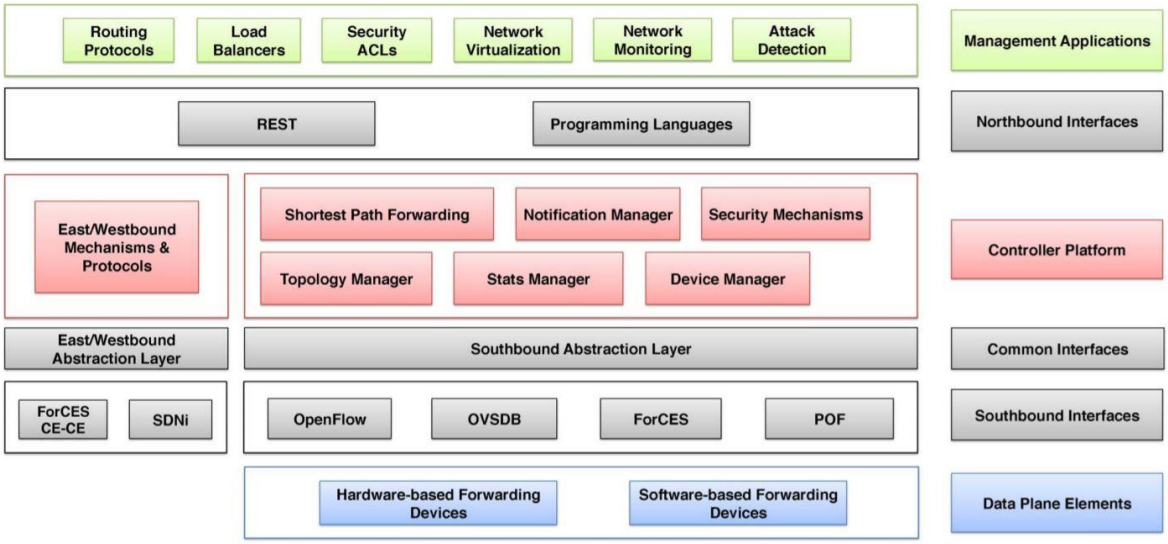
بخلاف ما سبق يمكن تصميم نظم التشغيل الشبكية بشكل موزع لتلبية متطلبات أي بيئة مهما كان الحجم من شبكة صغيرة الى كبيرة الحجم، ويمكن أن يكون المتحكم على شكل تجمع من المتحكمات المركزية أو العقد الموزعة، حيث إن البنية المركزية تصمم من أجل معدل نقل عالٍ للبيانات الكثيفة جداً ضمن مراكز البيانات كبيرة الحمل والبنية الموزعة تكون أكثر مرونة لمعالجة حالات الفشل المنطقي والمادي[8].

يفضل بالنسبة إلى مزود خدمات سحابية لديه مراكز عدة مرتبطة بشبكات واسعة النطاق استخدام نموذجٍ هجينٍ يمتلك به مجموعة من المتحكمات في داخل كل مركز من المراكز السابقة.

من أشهر الأمثلة للمتحكمات الموزعة ONOS, HYPERFLOW, HP VAN SDN.

تمتلك المتحكمات ثلاثة مستويات قابلة للتعريف: طبقة التطبيق، طبقة وظائف المتحكم، وطبقة عناصر الاتصال مع الواجهة الجنوبية. حيث يتم الاتصال مع الطبقات العليا من خلال الواجهات الشمالية مثل REST ولغات برمجة مثل FML, Frenetic, Net Core.

يبن الشكل الآتي بنية طبقة التحكم في الشبكات المعرفة برمجياً وتوضح عناصر المستويات المكونة له



الشكل (3-4) بنية طبقة التحكم في الشبكات المعرفة برمجياً

وظائف المتحكم الأساسية:

من أهم الوظائف الأساسية التي يجب على أي نموذج من المتحكمات تحقيقها كوظائف نظم التشغيل الحاسوبية منخفضة المستوى، هو إحصائيات الطوبولوجيا، والتوجيه عبر أقصر الطرق، وتقنيات الحماية، والإشعارات وإدارة الأجهزة.

الواجهات الجنوبية:

تقع الواجهات الجنوبية في الجهة السفلى من المتحكم وتعد بمنزلة سواقات للأجهزة. أهميتها في التكامل الرجعي مع الأنظمة القديمة والتكامل مع الأنظمة غير المتجانسة.

تدعم معظم المتحكمات بروتوكول Open Flow بشكل أساسي كحل لطبقة الواجهات الجنوبية، وهناك كثير من المتحكمات تدعم طيفاً واسعاً من ذلك مثل Open Day Light, Onix.

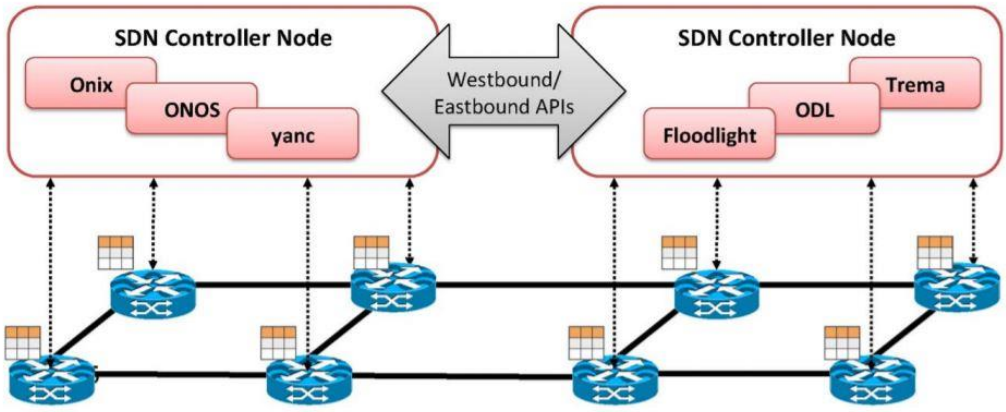
يقدم Open Day Light طبقة تجريد تسمى طبقة تجريد الخدمات، وتسمح بوجود أكثر من واجهة جنوبية مختلفة معاً.

الواجهة الشرقية والغربية:

تسمى بالواجهات الشرقية الغربية أو الجانبية لأنها تربط بين عناصر من المستوى ذاته، حيث تتطلب في بنية المتحكمات الموزعة وجود تخاطب بينها لذلك أُطلق عليها واجهات شرقية غربية.

يحقق كل متحكم بنية هذه الواجهات بشكل خاص فيه. من أهم الوظائف الأساسية لها نذكر منها استيراد وتصدير المعلومات بين المتحكمات، تنجيز نماذج اتساق المعطيات، وإدارة ومراقبة الإشعارات (مثال التحقق إذا كان المتحكم يعمل حاليا وتقديم الإشعارات بالتحكم بمجموعة من أجهزة التمرير في حال عدم تحقق ذلك)[8] .

يوضح الشكل الآتي مكان توضع الواجهات الشرقية الغربية بين المتحكمات الموزعة



الشكل (3-5) الواجهات الشرقية الغربية في المتحكمات الموزعة

3.2.2.5 الطبقة الخامسة: طبقة الواجهات الشمالية

تعد الواجهات الشمالية والجنوبية الأساس التجريدي القائم في نظم الشبكات المعرفة برمجيا، حيث جرى الاتفاق بشكل عام على تنجيز الواجهة الجنوبية متمثلاً ب Open Flow، أما بالنسبة إلى الواجهة الشمالية فمازال الأمر قيد الدراسة، حيث تعد الواجهة الجنوبية جزءاً من العتاد الصلب ضمن الشبكة حيث تكون مرتبطة بشكل وثيق مع أجهزة التمرير.

يتم التعامل مع الواجهة الشمالية على أنها جزء برمجي ولا توجد ضمن نطاق العتاد المادي بشكل مستقل.

من الغير المتوقع تصميم واجهة شمالية معيارية لجميع الحالات، حيث إن المتطلبات تختلف بشكل كبير نتيجة التنوع الكبير لها من تطبيقات مخصصة بالحماية وأخرى مخصصة بالتوجيه.

يوجد كثير من الاقتراحات، منها: مثلاً المقدمة مع المتحكم PANE المصمم للتكامل مع المفهوم الشبكي، يتيح لمدير الشبكة تعريف حصص وسياسات منع نفاذ معنية، وأيضاً يسمح لتطبيقات الزبائن بطلب موارد الشبكة بشكل فعال ديناميكي.

مثلاً تطبيق صوت وصورة يمكن تعديله للتعامل مع المتحكم PANE لطلب جزء من الحزمة لضمان جودة معنية لنقل المعطيات خلال جلسة الاتصال، يتضمن أيضاً مترجم تطبيقات، ومحركاً لضمان عدم تجاوز الطلبات لحد معين ويحدده مدير الشبكة لضمان عدم تأثر بقية التطبيقات على الشبكة بهذه الطلبات وتجنب الوقوع في حالات المجاعة[8].

3.2.2.6 الطبقة السادسة: طبقة التمثيل الافتراضي المعتمد على اللغة

لدنيا سمتان أساسيتان من أهم المتطلبات للنظم الافتراضية، هما: القدرة على التعبير عن النمطية، والسماح بمستويات مختلفة من التجريد مع ضمان الخصائص المرغوبة كالحماية.

تتيح تقنيات التحويل الى الواقع الافتراضي بإضافة وجهات نظر مختلفة لمكونات البنية التحتية نفسها، حيث يمكن للمبدلة افتراضية كبيرة تكون بدلاً من مجموعة من أجهزة تمرير فعلية.

ومن ثمَّ يسهل ذلك كثيرا على مطوري التطبيقات، أي ليس من الضرورة التفكير في تسلسل الأجهزة التي تُوضع وتمر فيها قواعد التدفق، وإنما يقومون بالتطوير بشكل مجرد بعيد عن ذلك.

تعد لغة Pyretic مثالا للغات البرمجة المذكورة، إنها تقدم خدمات تجريد عالي المستوى لطوبولوجيا الشبكة، وذلك عن طريق ما يسمى (أغراض الشبكة).

تتألف هذه الأغراض من طوبولوجيا الشبكة ومجموعة القواعد المطبقة عليها حيث تقوم هذه الأغراض بتخبئة المعلومات وتقديم الخدمات المطلوبة بشكل متزامن[8].

3.2.2.7 الطبقة السابعة: طبقة لغات البرمجة

تم تطور لغات البرمجة على مر الزمن بداية من لغات على مستوى الآلة كلغة assembly لمعالجات x86 ونهاية بلغات عالية المستوى مثل JAVA, PYTHON.

وكذلك الأمر بالنسبة للشبكات بدأت قابلية البرمجة فيها من لغات منخفضة المستوى مثل Open Flow المعتمدة على لغة assembly وانتهت بلغات عالية المستوى كـ Frenetic و Nettle.

تحاكي لغات البرمجة منخفضة المستوى عمل أجهزة التمرير، وهذا يؤدي إلى جعل مطوري التطبيقات مضطرين إلى التعامل مع تفاصيل منخفضة المستوى أكثر من التركيز على حل المشكلة.

ويجب على البرمجيات المعتمدة على Open Flow أن تتعامل مع تفاصيل عمل المكونات العتادية الصلبة كالقواعد المتناقضة وترتيب أولويات هذه القواعد ومشكلات عدم التوافق في طبقة المعطيات التي تظهر نتيجة الرزم العابرة وهي الرزم التي ماتزال قواعد التدفق الخاصة بها قيد التثبيت.

وبالنتيجة فإن استخدام هذه اللغات منخفضة المستوى يحتاج الى جهد برمجي عالٍ وعملية التطوير أكثر عرضة للخطأ[8].

أصبح من الممكن استخدام لغات برمجة عالية المستوى للشبكات المعرفة برمجياً كما يأتي:

- تصميم تجريد على مستوى أعلى لتسهيل مهمة برمجة أجهزة التمرير.
- تصميم بيئات تطوير لمطوري الشبكات لتسريع عمليات التطوير والابتكار.
- التسويق لفكرة نمذجة التطبيقات وقابلية إعادة استخدام الشفرات على مستوى طبقة التحكم.
- تعزيز أفكار لتطوير الشبكات الافتراضية.

بمساعدة لغات البرمجة وأنظمة التشغيل لدنيا إمكانية منع حدوث تناقضات في قواعد التدفق، وذلك بسبب تشغيل أكثر من تطبيق على المتحكم نفسه.

لغات برمجة الشبكات المعرفة برمجياً عالية المستوى:

إن الهدف الأساسي من لغات برمجة الشبكات المعرفة برمجياً عالية المستوى تقديم خدمات متنوعة، مثلاً التحديثات الموزعة، والتحقق النموذجي، والبنى الشاملة للشبكة وغيرها وذلك من خلال ما يأتي:

1. الابتعاد وتجنب التعليمات ذات المستوى المنخفض والخاصة بنوع واحد من الأجهزة كما هو الحال في الشبكات التقليدية.
2. توفير إمكانيات تجريد ونمذجة تمكن من إدارة المهمات بشكل فعال عبر تطبيق سياسات شبكية سهلة وواضحة وإمكانية التعديل بسيطة.
3. فصل المهمات عن بعضها، مثلا التوجيه، سياسات هندسة البيانات ومنع النفاذ.

4. توفير واجهات برمجية عالية المستوى.
5. إعطاء حل للمشكلات قواعد التدفق كالقواعد المتناقضة أو غير التامة بأسلوب تلقائي.
6. صياغة حلول لمشكلات السباق (race problem) الشائعة في الأنظمة الموزعة بشكل عام.
7. توفير إمكانيات معالجة الأخطاء عند إنشاء الطرق ضمن مستوى طبقة البيانات
8. توفير الوقت عند تقديم حلول ومعالجة لحالات التدفق الجديدة.
9. تسهيل مهمات لإنشاء التطبيقات ذات الأهمية العالية كالجدران النارية التي تتبع حالة الشبكة.

إن فكرة المحمولية تبزر بشكل مهم في لغات برمجة الشبكات المعرفة برمجياً عالية المستوى كما هو الأمر في لغات البرمجة العادية، وذلك من أجل تسهيل مهمة المطورين، وعدم الحاجة لتنجيز التطبيقات بتوافق مع بنى المتحكمات المختلفة كل على حدة[8].

نستعرض أهم لغات برمجة الشبكات المعرفة برمجياً عالية المستوى مع أهم خصائها ضمن الجدول الآتي:

اسم اللغة	النموذج البرمجي	وصف مختصر
FatTire	تصريحية وظيفية	تستخدم التعابير المنتظمة للسماح للمبرمجين بتوصيف المسارات الشبكية ومتطلبات معالجة الأخطاء المقابلة.
Flog	تصريحية منطقية مقادة بأحداث	تجمع خليطاً من الأفكار كل من FML وFrenetic ومن ثمَّ تولد منطقاً مقاداً بالأحداث وتسلسلياً أمامياً.
FML	تصريحية دفق البيانات وتفاعلية	لغة توصيف سياسات عالية المستوى.
Frenetic	تصريحية وظيفية	مصممة لتفادي مشكلات السباق عبر مجموعة من التجريدات المنطقية عالية المستوى.
Nettle	تصريحية وظيفية وتفاعلية	مبنية على مبادئ البرمجة التفاعلية البسيطة لسماح المبرمجين بالتعامل مع القنوات بدلاً من الأحداث.
Procera	تصريحية وظيفية وتفاعلية	تتضمن مجموعة من التجريدات المنطقية عالية المستوى لتسهيل مهمة توصيف السلوكيات التفاعلية والمؤقتة.
Pyretic	أمرية إلزامية	تحدد سياسات شبكية عبر تجريد عالي المستوى.

جدول (3-1) أهم لغات برمجة شبكات SDN عالية المستوى

3.2.2.8 الطبقة الثامنة: طبقة تطبيقات الشبكة

تُعد طبقة تطبيقات الشبكة العقل الخاص لهذه الشبكة، وظيفة التطبيقات فرض منطق التحكم الذي تتم ترجمته إلى قواعد تحكم لعمل طبقة المعطيات.

تطبيقات الشبكات المعرفة برمجياً لها طيف واسع من الاستخدامات والحالات من الشبكات الداخلية في الشركات والمؤسسات والمنازل وصولاً الى مراكز المعطيات ونقاط تبادل الإنترنت، فقد تم استخدامها في كثير من التطبيقات في الوقت الراهن من أبرزها تطبيقات التوجيه، موازنة الحمل الشبكي، وفرض سياسات الحماية، وفي المستقبل يُتوقع ظهورها في تطبيقات خفض استهلاك الطاقة ومعالجة الأخطاء وخدمات الوثوقية على مستوى طبقة تمرير البيانات والشبكات الافتراضية وإدارة الحركة في الشبكات اللاسلكية[8].

هذا التنوع الكبير يُعد من أهم العوامل التي تساعد في تبني الشبكات المعرفة برمجياً وتطبيقاتها بشكل واسع، لكن رغم هذا يمكن تصنيف تطبيقات شبكات المعرفة برمجياً الى خمسة أنواع:

1. هندسة نقل البيانات
2. الحركية والجانب اللاسلكي
3. القياسات والمراقبة
4. الأمن والاعتمادية (dependability)
5. شبكات مراكز المعلومات

1. هندسة نقل البيانات:

يتوافر كثير من تطبيقات هندسة نقل البيانات، مثلاً Hedera، مخدم موازنة الحمل المعتمد على Open Flow. تهدف هذه التطبيقات إلى تنظيم عملية نقل البيانات بشكل فعال وتعظيم نسبة استخدام الشبكة.

من أهم العوائق التي تقف في وجه هذه التطبيقات هي قابلية التوسع، ومن ثمَّ فإن استخدام القواعد ذات أنماط المطابقة العامة (Wild Card) أحد الحلول المقترحة لتنفيذ حمولة الموازنة الاستباقية، حيث يجري تجميع طلبات الزبائن عبرها ضمن مجال عناوين IP. وبالنتيجة لإمكانية تخديم مجموعات كبيرة من الزبائن دون الحاجة إلى تدخل المتحكم عند وصول كل تدفق جديد. يمكن استخدام هذه التطبيقات على التوازي في نمط العمل التفاعلي

عند وجود رشقات متقطعة من الطلبات. يراقب المتحكم حركة البيانات غير الشبكية ويعيد ترتيب الزبائن على المخدمات عندما تكون الاختناقات واردة الحدوث[8].

يبين الجدول الآتي أشهر تطبيقات هندسة البيانات

اسم التطبيق	الهدف الأساسي	نوع المتحكم	نوع الواجهة الجنوبية
Elastic Tree	التوجيه لاستهلاك الطاقة	NOX	Open Flow
Flow QoS	جودة الخدمة لشبكات النفاذ واسعة النطاق	POX	Open Flow
Queue Pusher	لإدارة الأرتال لفرض سياسات جودة الخدمة	FLOOD LIGHT	Open Flow
Open QoS	توجيه ديناميكي لمراعاة جودة الخدمة في تطبيقات الوسائط المتعددة	FLOOD LIGHT	Open Flow

جدول (3-2) تطبيقات هندسة البيانات في شبكات SDN

2. الحركية واللاسلكية:

ما يزال مستوى التحكم الحالي في الشبكات اللاسلكية غير مثالي لإدارة الطيف المحدود، وحجز الموارد الراديوية، وتنجيز تقنيات التسليم handover، إدارة الواجهات وأداء موازنة فعالة للحمل بين الخلايا.

من أهم الخدمات المرغوبة في الشبكات اللاسلكية التي تقدمها الشبكات المعرفة برمجياً هي الإدارة السهلة والمبسطة لتقنيات الشبكات غير متجانسة، التكامل بين الشبكات المختلفة، البنى التحتية اللاسلكية المشتركة والحركية غير الظاهرة للزبائن، والشبكات الخلوية، وجودة الخدمة وسياسات التحكم بالنفاذ، والنشر السهل للتطبيقات الشبكية[8].
فيما يأتي نستعرض أهم التطبيقات للحركية واللاسلكية ضمن الجدول الآتي:

اسم التطبيق	الهدف الأساسي	نوع المتحكم	نوع الواجهة الجنوبية
Aero Flux	طبقة تحكم قابلة للتوسع للشبكات المحلية اللاسلكية	Flood Light	Open Flow, Odin
FAMS	شبكات محلية افتراضية معتمدة على Open FLOW	Programmable Flow	Open Flow

Odin	شبكات محلية افتراضية قابلة للبرمجة	Flood Light	Open Flow, Odin
Open Roads	تحكم بمسارات البيانات باستخدام Open FLOW	Flood Visor	Open Flow

جدول (3-3) أهم تطبيقات الحركية واللاسلكية المستخدمة في شبكات SDN

إن الشبكات اللاسلكية الكثيفة غير المتجانسة تعاني من عقبات عدة كالاختناقات الشبكية على وسط النفاذ الراديوي والأعباء الإضافية لمعلومات التحكم والكلف التشغيلية المرتفعة. فإن الشبكات المعرفة برمجياً تُعد هدفاً لهذه الشبكات، حيث يمكن استخدام المتحكمات الموزعة المحلية لاتخاذ قرارات موجهة بشكل فعال وسريع.

3. القياسات والمراقبة:

تصنف هذه التطبيقات في تصنيفين أساسيين، النوع الأول: يهتم بتقديم خدمات وظيفية جديدة للخدمات الشبكية الأخرى، أما النوع الثاني فهو يعمل على تحسين مزايا الحلول المعتمدة على Open Flow كالعمل على تخفيض الحمل الزائد على طبقة التحكم عن طريق جمع الإحصائيات والاستفادة منها.

نذكر مثالاً للنوع الأول تحسين أداء الشبكات واسعة النطاق، حيث إن الاتصال المنزلي على الشبكة واسعة النطاق المعتمد على الشبكات المعرفة برمجياً يبسط عملية إضافة وظائف جديدة لعملية المراقبة وتجميع المعلومات لنظم المراقبة كـ BISmark، ومن ثمَّ يسمح للنظام بالتصرف بتفاعل حيال التغيرات في الشبكة المنزلية.

يمكن للبوابة المنزلية أن تقوم بعملية هيكلة لحركة البيانات بناءً على القياسات الحالية للشبكة المنزلية.

أما بالنسبة إلى لنوع الثاني، فنذكر كثيراً من تقنيات تجميع العينات والتقدير التي تهدف لتخفيف أعباء طبقة التحكم عبر تجميع المعلومات والإحصائيات المتعلقة بطبقة البيانات[8].

من هذه التقنيات نذكر الاعتيان sampling الحتمي والعشوائي للرزم، مصفوفات تقدير حركة البيانات traffic engineering، والمراقبة الدقيقة للقواعد ذات حقول المطابقة العامة wild card.

ويبين الجدول الآتي أهم تطبيقات القياسات والمراقبة.

اسم التطبيق	الهدف الأساسي	اسم المتحكم	نوع الواجهة الجنوبية
BISmark	قياسات نشطة وغير نشطة	Procera framework	OpenFlow
FlowSense	يقيس معدل استخدام الوصلات في شبكات Open Flow		OpenFlow
OpenNetMon	مراقبة معاملات جودة الخدمة لتحسين معدل نقل البيانات	POX	OpenFlow, Odin
Open Sketch	قياسات خاصة بطبقة المعطيات	Open Sketch	Open Sketch
PaFloMon	قياسات غير نشطة مصممة من قبل المستخدم	FlowViso	OpenFlow

جدول (3-4) أهم تطبيقات القياسات والمراقبة في شبكات SDN

4. الأمن والاعتمادية:

تقدم الشبكات المعرفة برمجياً الحلول لتطوير الخدمات المطلوبة لتوفير الشبكات والأنظمة كفرض السياسات من خلال سياسات التحكم بالنفاذ والجدران النارية وغيرها، لكشف هجمات منع الخدمة ومعالجتها، التغير العشوائي للمستخدمين (كالتبديل العشوائي المستمر لعناوين IP)، مراقبة البنية التحتية السحابية وتنفيذ اختبارات دقيقة كالتحليل التلقائي أو تحويل الحالات المشبوهة للأجهزة المتخصصة، كأنظمة التحليل العميق للرزم، وأنظمة كشف الشذوذ في حركة البيانات، وسياسات التحكم بالنفاذ المعتمد على التدفق[8].

وبشكل عام توجد مقاربتان فيما يتعلق بهذه الناحية، الأولى تقوم على استخدام مفاهيم وتقنيات الشبكات المعرفة برمجياً لتحسين أمان الشبكات، أما الثانية فهي تعمل على تحسين أمان الشبكات المعرفة برمجياً نفسها.

اسم التطبيق	الهدف الأساسي	اسم المتحكم	نوع الواجهة الجنوبية
CloudWatcher	إطار عمل لمراقبة البيئات السحابية	NOX	Open Flow
DDoS detection	كشف للهجمات ومعالجتها	NOX	Open Flow
FlowNAC	التحكم بالنفاذ الى الشبكة على أساس التدفق	NOX	Open Flow
FortNOX	ترتيب أولويات قواعد التدفق	NOX	Open Flow

جدول (3-5) أهم تطبيقات الأمن والأمان في شبكات SDN

5. شبكات مراكز البيانات:

إن مراكز البيانات جزء أساسي ومعتمد في الأنظمة المعلوماتية من الشركات الصغيرة الى أكبر مزودي الخدمات السحابية العملاقة، ورغم ذلك تواجه هذه المراكز عقبات تقنية كثيرة وخاصة في مجال التخزين والشبكات والحوسبة. بالنسبة الى الشبكات فهي بحاجة الى تصميم يتيح إمكانية توزيع عرض الحزمة بشكل مرن وفعال وأقل زمن تأخير، ومحققة شروط جودة الخدمة المطلوبة لكل نوع من أنواع التطبيقات، بالإضافة الى التوزيع الذكي للموارد، وتخفيض استهلاك الطاقة، وزيادة الفعالية الكلية. علماً أن معظم هذه المسائل ماتزال عالقة نظراً إلى تعقيدها الكبير وقلة المرونة التصاميم في الشبكات التقليدية.

ومن ثمَّ نجد أن مراكز البيانات يمكن أن تحقق استفادة كبيرة جداً من الشبكات المعرفة برمجياً، وخاصة في مجال هجرة الشبكات الفعالة، وإدارة الشبكات المتطورة، والانتقال السريع من التطوير للتنفيذ في الشبكات، وتفادي وكشف الأخطاء، وتصغير تأخير إنشاء المسارات وكلف تشغيل المتحكمات.

يمكن الاستفادة أيضاً من الشبكات المعرفة برمجياً في سير العمل الشبكي من خلال كشف الشذوذ عن طريق استخدام نماذج للسلوكيات المقبولة وتجميع المعلومات الضرورية من العناصر المتضمنة في العملية سواء بنية تحتية، أو متحكمات، أو مشغلات، أو تطبيقات، حيث يمكن تسجيل علامة مميزة لكل تطبيق على حدةٍ من خلال مراقبة معلومات التحكم عبر الشبكة، ومن ثمَّ يمكن استخدام التسجيل للكشف عن أية اختلافات في السلوك.

يتوفر إمكانية العمل لدى المشغلات بشكل استباقي أو تفاعلي لاتخاذ الإجراءات اللازمة. يساعد ذلك في تفادي الأضرار التي من الممكن أن تحصل في البنية التحتية وإبعاد المكونات الشاذة.

فيما يأتي نستعرض جدولاً بأهم تطبيقات مراكز شبكات البيانات

اسم التطبيق	الهدف الأساسي	نوع المتحكم	نوع الواجهة الجنوبية
Big Data App	أمثلة استخدام الشبكة		Open Flow
CloudNaas	يقدم أساسيات الشبكات في تطبيقات السحابية	NOX	Open Flow
FlowComb	توقع حجم الحمل لكل تطبيق	NOX	Open Flow
FlowDiff	كشف الأخطاء العملياتية	Flow Visor	Open Flow
LIME	هجرة الشبكات النشطة	Flood light	Open Flow

جدول (3-6) أهم تطبيقات مراكز شبكات البيانات

3.3 شبكات العربات المخصصة:

3.3.1 المقدمة:

شبكة العربات المخصصة VANET هي حجر الأساس في نظام النقل الذكي ITS، على الرغم من أنها تقدم كثيراً من المزايا والخدمات الأساسية للسائقين والركاب كالسلامة على الطرقات والكفاءة المرورية، إلا أنها ماتزال تفتقر الى المرونة الكافية والقدرة على التوسع للتواصل بين العربات بسبب البينة التحتية الثابتة للشبكة الأساسية، والاستخدام غير الفعال للموارد، والتوزيع غير المتكافئ لحركة المرور.

3.3.2 تعريف شبكات العربات المخصصة:

هي أحد أهم أنواع الشبكات اللاسلكية النقالة تعرف باسم VANET اختصاراً لاسم Vehicular Ad-Hoc Networks، وهي عبارة عن شبكة مخصصة ليس لها معرفة بطوبولوجيا الشبكة، فهي تتغير بشكل مستمر وسريع، وتتألف من مجموعة من العربات (المركبات) تسير على شبكة الطرق ويتم تبادل البيانات فيما بينها، حيث ترسل كل عقدة إعلاناً عن وجودها باستخدام حزم البث ومن ثمَّ يجري معرفة وجود هذه العقدة من قبل العقد المجاورة [12]

إن شبكات العربات المخصصة تبنى بشكل رئيس لأجل توفير بيئة ملائمة لاتصال العربات مع بعضها على تقنيات مختلفة. فهي تعمل على تحسين السلامة على الطرقات، وتحسين حركة المرور وكفاءة السفر والحد من المشكلات المرورية حيث تمكننا هذه الشبكات من تبادل معلومات عن جغرافية الطرق وإمكانية التواصل بين السائقين وحصول العربة على معلومات من مراكز البث (وحدات جانب الطرقات).

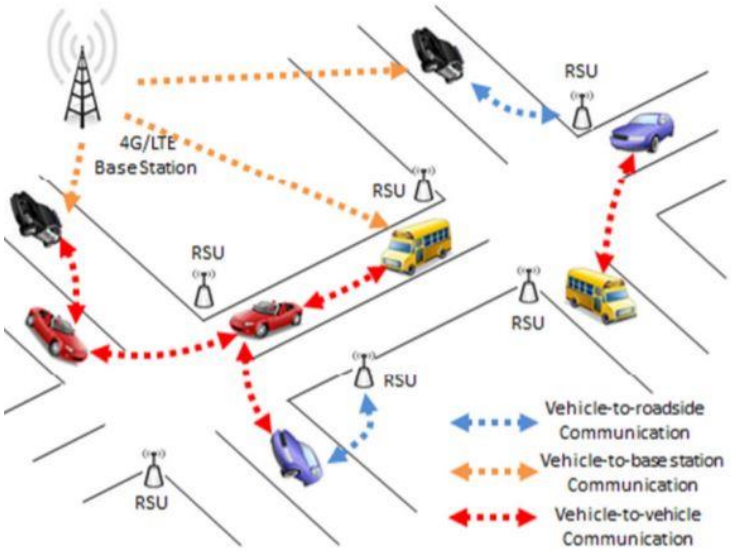
تعتبر شبكات العربات المخصصة حالة خاصة من الشبكات المخصصة العشوائية MANETs وهي تتميز بالخصائص الآتية:

- حركية عالية للعقد
- بنية شبكية ديناميكية
- بنية ذات تنظيم ذاتي
- اتصال موزع
- مسارات مقيدة
- حجم الشبكة متغير

يوجد ثلاثة أنواع من الاتصالات في شبكات العربات المخصصة العشوائية:

- اتصال مباشر بين العربات (السيارات) فيما بينها بطريقة مخصصة Ad-Hoc
- اتصال بين العربات ووحدات جانب الطرقات بالاعتماد على النطاق الترددي العريض (LTE, 4G).
- اتصال بين وحدات جانب الطرقات فيما بينها[13]

يوضح الشكل الآتي المكونات الأساسية لهذه الشبكات وآلية التواصل فيما بينها



الشكل (3-6) المكونات الأساسية لشبكات العربات المخصصة

تجري الاستعانة بوحدات جانب الطرقات عندما تكون السيارتان المعنيتان بالاتصال خارج نطاق التغطية لبعضهما، فيتم الاتصال بهم كعقد تمرير، حيث تتمتع بمجال تغطية أكبر من العربات.

لتوضيح خصائص شبكات العربات نذكر نقاط التشابه والاختلاف بينها وبين شبكات العشوائية المخصصة اللاسلكية المتحركة الموضحة في الجدول الآتي:

نوع الشبكة	شبكات MANET	شبكات VANET
الإدارة المركزية	لا يوجد	لا يوجد
بنية تحتية	لا يوجد	يوجد
موارد حسابية وذاكرة	محدودة	كبيرة نسبياً
عدد العقد	عدد كبير	عدد كبير

كلفة الإنتاج	منخفض نسبياً	مرتفع نسبياً
سرعة تغير الطوبولوجيا	بطيء نسبياً	مرتفع نسبياً
كثافة العقد	ضئيلة نسبياً	متغيرة وعالية
عرض الحزمة	مئات الكيلو مترات	آلاف الكيلو مترات
العمر الشبكي للعقد	يعتمد على مصادر الطاقة	يعتمد على مصادر الطاقة ووجود العقدة ضمن نطاق الشبكة
المسارات ذات العقد المتعددة	توجد	توجد
نمط الحركة	عشوائي	منتظم نوعاً ما
نمط العنونة	معتمد على مواصفات العقدة	معتمد على الموقع

جدول (3-7) نقاط التشابه والاختلاف بين شبكات VANETوشبكات MANET

ثمة كثير من التطبيقات ضمن شبكات العربات المخصصة التي تنقسم بشكل رئيس الى:

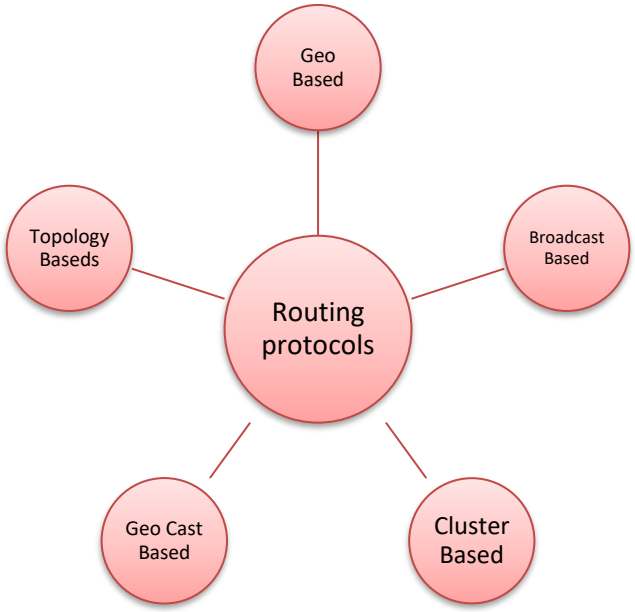
- تطبيقات راحة المستخدم والرفاهية: كتطبيقات التسلية والمعلومات.
- تطبيقات الأمان: كتطبيقات إدارة الحركة المرورية، وتطبيقات معلومات التجوال، وغيرها.

3.3.3 التوجيه في شبكات العربات المخصصة:

نظراً إلى ميزة التنقل والحركية العالية في شبكات العربات، فإننا بحاجة الى اختيار بروتوكولات توجيه بدقة، وخاصة أنه يجري إرسال الرزم من عربة إلى عربة أثناء الحركة، وهذا يزيد من التحديدات التي تواجه بروتوكولات التوجيه.

فنظراً إلى هذه الطبيعة الصعبة لشبكات العربات المخصصة توصل الباحثون الى أنواع عدة من بروتوكولات التوجيه وتصنيفها[12].

يوضح الشكل الآتي تصنيف بروتوكولات التوجيه في شبكات العربات المخصصة **VANET**



الشكل (3-7) تصنيفات بروتوكولات التوجيه في شبكات VANET

3.3.3.1 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الجغرافية *Geo Based Protocols*:

يتكون هذا النوع من البروتوكولات من ثلاثة مكونات أساسية: إعادة التوجيه، والموقع، وخدمات التنبيه، ليس هناك حاجة الى إنشاء جداول توجيه حيث يجري التواصل بين المصدر والوجهة باستخدام الموقع الجغرافي وأيضا عنوان الشبكة. حيث يقوم بروتوكول توجيه موازنة الحمل (LBRP) بحساب وتكوين المسار بناءً على البيانات من موقع العقد.

النقاط السلبية لهذه البروتوكولات هي أنها تتطلب مساعدة النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) للحصول على مواقع العربات وأيضاً إن إشارات الأقمار الصناعية تصبح ضعيفة في بيئات معنية مثل الأنفاق. فإن هذا البروتوكولات ممتازة في بيئة الطرقات السريعة وتقدم أفضل أداء، بالإضافة الى كفاءتها في بيئات التنقل السريعة.

مثال على هذه البروتوكولات: خوارزمية التوجيه الجشع للمحيط، التوجيه عن بعد من أجل التنقل (DREAM).

3.3.3.2 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على البث *Broadcast Based Protocols*:

تستخدم هذه البروتوكولات ضمن التطبيقات المتعلقة بالسلامة، حيث تُرسل رسائل تحذير من حالة الطقس أو حالات الطوارئ وهكذا. الإيجابية في استخدام هذا النوع هي الموثوقية.

سيئة هذه البروتوكولات أنها تستهلك مزيداً من عرض النطاق الترددي، بالإضافة الى تكرار وصول الرزم الى العقد.

تضم هذه البروتوكولات أنواعاً عديدة، منها: بروتوكولات البث الموزع للعربات (DV–CAST)، وبروتوكول البث الموثوق للمواقع (POCA)، وبروتوكول البث (DECA).

3.3.3.3 بروتوكولات التوجيه العنقودية *Cluster Based Protocols*:

يجري ضم العربات التي لها نفس الخصائص السرعة والاتجاه ضمن مجموعة واحدة، فإذا كانت العربة بحاجة للتواصل مع عربة ثانية ضمن المجموعة نفسها تتبع البيانات مساراً مباشراً ويعتبر اتصالاً محلياً، أما إذا كانت خارج نطاق المجموعة تحتاج الى مساعدة من المسؤول للوصول الى الوجهة المطلوبة.

ميزات هذه البروتوكولات هي قابلية التوسع التي تجعل منها اختياراً موفقاً لمصممي الشبكات.

سيئات هذه البروتوكولات: تأخير في حركة الرزم.

3.3.3.4 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على تكلفة للموقع الجغرافي *Geo Cast Protocols*:

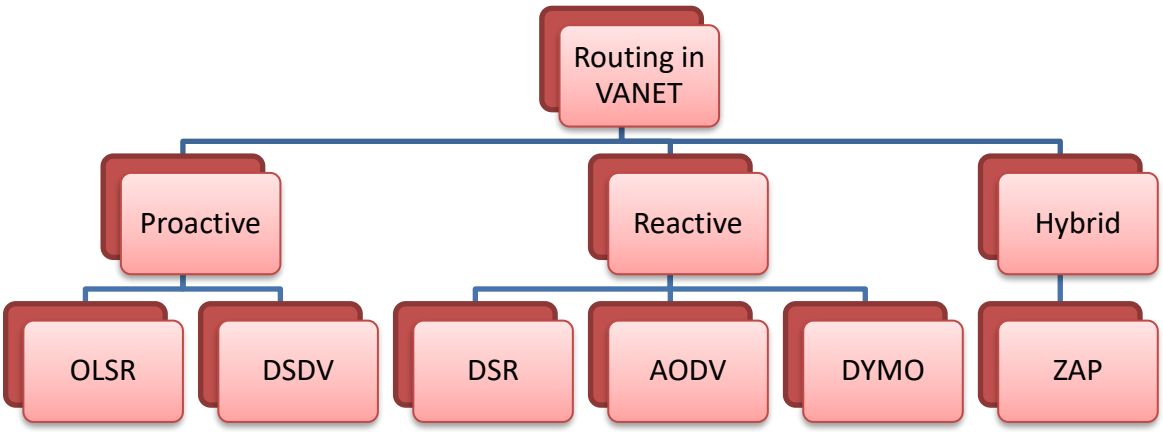
يتألف هذا النوع من البروتوكولات من منطقتين أساسيتين:

- منطقة الملاءمة (ZOR): هي المنطقة المخصصة لمجموعة العقد ضمن المنطقة المحددة، الهدف الأساسي هنا جعل إمكانية الاتصال بين العقد الموجودة في هذه المنطقة.
- منطقة إعادة التوجيه (ZOF): هذه المنطقة متخصصة في حال أي عقدة (عربة) تريد التواصل مع عقدة أخرى خارج نطاق المنطقة (ZOR)، ومن ثمَّ تصبح العربة جزءاً من هذه المنطقة (ZOF) ليتم إعادة توجيه البيانات الى مناطق (ZORs) أخرى.

عيوب هذه البروتوكولات: نظراً إلى التغيرات المتكررة في المناطق، ثمة إمكانية حدوث انقطاع في الاتصال بشكل منتظم.

3.3.3.5 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الطوبولوجيا *Topology Based Protocols*:

تستخدم بروتوكولات هذا النوع معلومات الوصلات الموجودة في الشبكة لتأدية عمل توجيه الرزم[13]. حيث يجري تطبيق بروتوكولات التوجيه الخاصة بشبكات ال MANET نفسها في شبكات العربات VANET، وتصنف الى ثلاثة أنواع وفق الشكل الاتي:



الشكل (3-8) بروتوكولات التوجيه في شبكات VANET

بروتوكولات التوجيه الاستباقية Proactive Routing Protocols:

تقوم هذه البروتوكولات بشكل مستمر ومنتظم بحساب المسار، ومن ثمَّ يوجد تحديثات في جداول التوجيه بشكل دوري. تعتمد هذه الأخيرة على خوارزمية Bellman-Ford ومن ثمَّ يمكن للعقد بالاحتفاظ بجميع المعلومات المتعلقة بالعقد المجاورة، فهي تحافظ على تحديث جداول التوجيه الخاصة بها بوساطة رسائل دورية.

ميزة هذه البروتوكولات: يُعرف المسار عند وقت إرسال الرزم، فليس بحاجة إلى مرحلة اكتشاف الطريق، والتأخير الزمني في تطبيقات الزمن الحقيقي ضئيل. أما سيئة هذه الأخيرة فهي باستهلاكها غير المفيد للحزمة الترددية المتوفرة.

ومن الأمثلة على بروتوكولات الاستباقية بروتوكول التوجيه الأمثل لحالة الوصلة المحسنة Optimized Link State Routing (OLSR)، وبروتوكول توجيه المسافة المتسلسلة للوجهة Destination Sequenced Distance Vector (DADV) [12].

إن بروتوكول توجيه الأمثل لحالة الوصلة المحسنة (OLSR) هو النسخة المحدثة من بروتوكول حالة الارتباط، وهو مصمم خصيصاً للشبكات العشوائية المخصصة المتحركة، يستعمل تقنية محسنة لنشر معلومات حالة الوصلة ونشر جزء من حالة الوصلة لجميع العقد في الشبكة ومن ثمَّ فإن أي تغير يحدث في الطوبولوجيا يجري إرسال رسائل بث الى جميع العقد في الشبكة وهذا يسبب زيادة الحمل بالشبكة[14].

يجري تبادل المعلومات التحكمية في بروتوكول توجيه الأمثل لحالة الوصلة المحسنة من خلال نوعين من الرسائل:

- رسائل Hello الترحيب: يجري تبادل رسائل الترحيب بشكل دوري بين العقد المجاورة فهي تستخدم للكشف على هوية الوصلات المؤدية للجيران واختيار الـ (Multipoint layers) MMRs.
- رسائل التحكم في الطوبولوجيا (Topology Control Message) TC: تُنشر على كامل الشبكة تحمل معها معلومات عن حالة الوصلة لجميع العقد بمساعدة (MMR)، حيث تفيد هذه الأخيرة في تقليل الحمل الزائد في الشبكة.

أما بروتوكول توجيه المسافة المتسلسلة للوجهة (DADV) فهو تعديل لخوارزمية Bellman–Ford فهي تقدم حلاً لمشكلة الحلقات قي التوجيه من خلال الحفاظ على معلومات رقم تسلسل كل عقدة.

بروتوكولات التوجيه التفاعلية reactive Routing Protocols:

أهم ميزات هذه البروتوكولات أنها تقوم بالبث العام فقط عند الحاجة (تحديث جداول التوجيه)، أي يجري خلق مسارات من التوجيه عند الحاجة، وهذا يؤدي الى تقليل استخدام الحزمة الترددية بسبب عدم الاعتماد على طرود beacon. ومن ثمَّ لا يملك معلومات عن جميع العقد فهو يحتفظ بالمعلومات التي تأتي في المسار. في حين أنه من سلبياتها أنها تحتاج الى وقت عالٍ في مرحلة تحديد الطريق.

من أهم بروتوكولات التوجيه التفاعلية:

- بروتوكول شعاع المسافة التفاعلي Ad–hoc On–Demand Distance Vector(AODV)
- بروتوكول توجيه المصدر الديناميكي Dynamic Source Routing Protocol(DSR)
- بروتوكول التوجيه Dynamic Manet on Demand Protocol (DYMO)

إن بروتوكول AODV أكثر استخداماً في شبكات العربات VANET يقوم بتوجيه البيانات عبر الشبكات اللاسلكية Mesh Network، فهو يمتلك معلومات عن العقدة القادمة والمجاورة، فعندما تريد عقدة المصدر إرسال بيانات الى عقدة الوجهة سيتحقق من معلومات المسار ضمن جدول التوجيه الخاص فيها، وذلك في حال وجودها ضمن الجدول وإلا سوف تُرسل عقدة المصدر رسائل بث لاكتشاف العقد المجاورة.

ميزات هذا البروتوكول أنه مخصص للشبكات عالية التنقل وذو خوارزمية بسيطة وتتطلب ذاكرة أقل.

بروتوكول DSR تشبه خوارزمية التوجيه فيه خوارزمية توجيه شعاع المسافة التفاعلي من ناحية إنشاء المسار عند الطلب، لكن الفرق بينهما يكمن في استخدام توجيه المصدر عوضاً عن جداول التوجيه في كل عقدة وسطية. أيضاً لديه القدرة على التنظيم وإدارة الشبكة، فهو ليس بحاجة الى إدارة، فإن الوظائف الرئيسية التي يقوم بها اكتشاف المسار وصيانته وبدوره يقوم باكتشاف العقد وصيانة المسار في الشبكة.

بروتوكول DYMO أُصدِر بعد بروتوكول AODV، يمكنه العمل بأسلوب التوجيه التفاعلي والاستباقي حسب الحاجة.

بروتوكولات التوجيه الهجينة Hybrid Protocols:

هي مزيج من بروتوكولات التفاعلية والاستباقية معاً، من أهم ميزاتها أنها قللت من الكلفة العامة وزمن التأخير ومن تخفيض زيادة حمولة الشبكة بسبب مشاركتها لمعلومات الطوبولوجيا، بالإضافة الى تحسن الأداء والكفاءة بشكل عام.

سيئة هذا النمط من البروتوكولات هو وقت الاستجابة العالي للتنقل بين مسارات الشبكة الجديدة.

من أهم بروتوكولات هذا النوع: بروتوكول ZRP.

بالاعتماد على دراسة سابقة، يبين الجدول الآتي مقارنة بين أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات العربات المخصصة كما يأتي[12]:

References	Protocols	Performance Results
Salman et al. 2016	Topology Based Routing Protocols	Reactive Protocols works better
Setiabudi et al. 2016	GPSR and ZRP	Hybrid Protocol (ZRP) works better
Kumar and Baghal 2016	AODV and LSGR	LSGR proved better
Sallam and Mahmoud 2015	AODV and OLSR	AODV is better in more dense and high mobility area
Kaur and Malhotra 2015	AODV, OLSR and ZRP	ZRP proved to be the best in terms of node density and packet sizes
Zhang and Sun 2015	AODV and DSR	AODV performance is better with high mobility nodes then DSR
Gupta and Chaba 2014	AODV, DSR, OLSR and DSDV	AODV is among the best with high mobility nodes
Spaho and Ikeda 2012	DSDV and DYMO	DYMO has better performance than DSDV
Prokop 2011	AODV, DSR and DYMO	DYMO proven best AODV can be used as second choice

جدول (3-8) أداء بروتوكولات التوجيه لشبكات VANET

إن الجدول الآتي يبين أيضاً مقارنة بين بروتوكولات التوجيه المعتمدة على المكان وبين بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الطوبولوجيا[13].

بروتوكولات التوجيه في شبكات العربات	بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الطوبولوجيا	بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الموقع
آلية العمل	تستخدم خوارزميات حساب أقصر طريق يتم تسيير الرزم وفق معلومات الوصلات المخزنة في جداول التوجيه	تستخدم خدمة تحديد المواقع تسيير الرزم يعتمد على موقع العربة

نقاط القوة	الاعتماد على اكتشاف المسار للبحث عن أفضل وأقصر طريق ممكن بين العقد المرسلة والمستقبلة لا يعتمد على رسائل beacon مناسب للتوجيه المنفرد والمتعدد والإذاعي	لا يحتاج الى اكتشاف المسارات والمحافظة عليها يحتاج الى أقل ترويسات يدعم البيئات عالية الحركة
نقاط الضعف	يحتاج الى ترويسات تحكم أكثر اكتشاف المسار والقيود على تأخيرات صيانة المسارات الفشل في اكتشاف المسار الكامل بسبب تغيرات الشبكة المستمرة	يعتمد على رسائل beacon يعتمد على خدمات تحديد الموقع قد يحدث اختناق في موقع تحديد الخدمة

جدول (3–9) مقارنة بين بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الطوبولوجيا والمعتمدة على الموقع

3.3.4 التحديات التي تواجه شبكات العربات المخصصة المتحركة:

يوجد كثير من التحديات التي تواجه هذا النوع من الشبكات، وأهمها توفر بروتوكول توجيه مستقر، ولكي يتم يتحقق ذلك يجب التركيز على أهم العوامل التي تؤثر في أداء بروتوكولات التوجيه وسنذكر منها الآتي:

- التغير الكبير في الطوبولوجيا: بسبب طبيعة حركة العربات بسرعات مختلفة على الطرق، وهذا يؤدي الى تغير المسارات بشكل مستمر (الطوبولوجيا)، مع إمكانية حدوث انقطاعات لها أحياناً وخاصة في ساعات الذروة (ساعات الازدحام) ومدتها حيث يجب توفير مسار بديل في حال الانقطاع.
- نموذج التنقل: تتبع العربات نموذجاً من التنقل يأخذ بعين الاهتمام الإشارات الضوئية، وحدود السرعة، والحركة المرورية، وسلوك السائقين ومن ثمَّ سوف يختلف أداء بروتوكولات التوجيه بحسب نموذج التنقل المعتمد.
- نموذج الانتشار: في شبكات العربات نموذج الانتشار لا يماثل نموذج الانتشار في الفراغ الحر بسبب البنية التحتية (وجود أشجار، أبنية، والعربات)، وعليه يجب الأخذ بعين الاهتمام هذه الأجسام المعيقة للانتشار.

- الحساسات المدمجة: يمكن للعربات مضافة لها حساسات مدمجة وتزود بروتوكولات التوجيه بمعلومات مفيدة في التوجيه، مثلاً: سرعة العربة ومعلومات عن موقعها[15].

3.4 شبكات الاتصال النقالة

تطورت قدرات الاتصال والتواصل بين البشر في العقود الماضية بشكل كبير، بدءاً من الجيل صفر (0G) حتى الجيل الخامس (5G). حيث جرى استبدال الاتصالات التماثلية بالاتصالات الرقمية بدءاً من الجيل الثاني الذي بدوره حسن أداء وجودة الاتصال اللاسلكي بشكل كبير، في حين أنَّ هدف الجيل الثالث هو تحسين الاتصال الصوتي وتصميم شبكة واحدة تخدم الاتصال الصوتي ونقل البيانات، أما الجيل الرابع فقد ركز على أهداف عدة أهمها جودة الخدمة والفعالية والأداء.

3.4.1 أجيال الاتصالات:

سنعرض التطور التاريخي لأجيال الاتصالات حتى الوقت الراهن:

3.4.1.1 الجيل (0G):

بدأت أنظمة الاتصالات اللاسلكية في سبعينيات القرن الماضي بعد الحرب العالمية الثانية، حيث لم تكن الأجهزة اللاسلكية واسعة الانتشار ولم تدعم خدمات كثيرة أهمها (Handover) للتنقل بين القنوات.

من أشهر التقنيات التي قام عليها نجد (PTT) Push To Talk, (MTS) Mobile Telephone System, (IMTS) Improved Mobile Telephone Service, (AMTS) Advanced Mobile Telephone System.

استخدم هذا النظام غالباً رجال الأعمال وذوو النفوذ من أجل الاتصالات الصوتية حصراً[16].

3.4.1.2 الجيل (0.5G):

تميز هذا الجيل بأنه أصبح متوفر كخدمة تجارية، كجزء من شبكة الهواتف العامة PSTN، كان لكل جهاز لاسلكي رقمٍ خاصٍ به بدلاً من كونه جزءاً من شبكة مغلقة كشبكة الشرطة مثلاً.

كانت هذه الأجهزة تُركب على السيارات أو بشكل حقائب محمولة.

3.4.1.3 الجيل الأول (1G):

يعد أول جيل ذي بنية خلوية، حيث كانت الأجهزة النقالة عبارة عن هواتف خلوية تماثلية منذ بداية ثمانينيات القرن الماضي، تميز هذا الجيل بخدمات التسليم والتجوال ضمن البلد الواحد فقط.

لم يمتلك سعة كبيرة، وكانت جودة الاتصال الصوتي منخفضة ولم يمتلك أي بنية أمنية، أي إنَّ الاتصالات الصوتية تُرسل بشكل واضح عبر القناة الراديوية.

يعد نظام AMPS الأمريكي أول نظام تجاري من هذا الجيل في عام 1980 وكان يعمل بعرض مجال **40**MHZ ضمن المجال الترددي 800–900 MHZ وأُضيفMHZ 10 لاحقا عام 1988.

يوجد أيضاً أنظمة مشابهة في كثير من الدول مثال لذلك RTMI في إيطاليا[16].

قدم هذا الجيل سرعة اتصال صوتي تبلغ 2.4kbps.

3.4.1.4 الجيل الثاني (2G):

اعتمد هذا الجيل على التقنية الرقمية في التسعينيات وقدم كثير من الخدمات الجديدة، مثال لذلك الرسائل النصية، رسائل الوسائط المتعددة، وأيضاً تحسن مستوى الأمان لدى الإرسال والاستقبال، حيث يجري تشفير الرسائل النصية بشكل رقمي.

استخدم العديد من التقنيات النفاذ المتعددة كـ CDMA حيث تعمل هذه التقنية بإسناد رمز خاص لكل مستخدم في القناة اللاسلكية، وأيضاً تقنية TDMA تعمل وفق مبدأ تقسيم الإشارة في الزمن.

أهم أنظمة هذا الجيل هو نظام GSM الأوربي، حيث جرى استخدامه في أكثر من 212 بلداً حول العالم، فهو يعتمد على تقنية TDMA وذلك بتجميع 8 اتصالات في كل قناة لاسلكية ضمن المجال الترددي ,MHZ 900 MHZ 1800. بالإضافة الى ذلك خدمة الاتصالات الصوتية فهو يدعم نقل البيانات وفق تقنية تبديل الدارات Circuit Switching سرعة النقل 14.4 kbps.

جرى تطوير نظام GSM الى كثير من الأنظمة عرفت بالجيل الثاني 2.5G.

3.4.1.5 الجيل (2.5G –GPRS):

هو تحسين وامتداد لنظام الاتصالات GSM حيث تميز بالسعة الكافية لتشغيل الخدمات المعتمدة على الرزم بسرعات نقل تقدر بـ 56–384kbps.

يقدم العديد من الخدمات أهمها: MMS, Email, WWW, WAP

3.4.1.6 الجيل (2.75G EDGE):

هو تطوير لنظام GPRS وذلك بإضافة ترميز 8PSK وبسرعة نقل تصل الى 236.8kbps.

بالإضافة الى دعمه لتقنيات تبديل الدارات وتبديل الرزم، يعد أفضل من نظام ***GPRS*** بالمقارنة معه، فإن ملفاً نصياً حجمه 40KB يحتاج الى ست ثوانٍ، في حين أنَّ في EDGE يحتاج الى ثانيتين فقط[16].

3.4.1.7 الجيل الثالث (3G):

الجيل الثالث لأنظمة الاتصال اللاسلكي النقالة يعمل ضمن الحزمة الترددية 2000MHZ.

جرى التطور فيه ضمن اتجاهين: الأول يعتمد على أنظمة CDMA مثال عليها CDMA2000، والثاني يعتمد على GSM وهو UMTS, WCDMA.

قدم هذا الجيل لمشغلي الشبكات حزمة واسعة من الخدمات، من أهمها: الاتصالات الرقمية الصوتية والفيديوية، ونقل البيانات الرقمية، وخدمة التوضع المكاني. وبالإضافة الى سعة أكبر من خلال الكفاءة الطيفية العالية.

3.4.1.8 الجيل (3.5G – HSDPA):

هو تحسين لـ WCDMA، يسمح بمعدل نقل بيانات أعلى. فهو يعتمد على تقنية تبديل الرزم في الوصلة الهابطة بمعدلات نقل 8–10 Mbps, 20Mbps في الأنظمة المدعومة بـ MIMO بسعة قناة تصل الى 5Mbps.

3.4.1.9 الجيل (3.75G – HSUPA):

هو تطوير لـ WCDMA على الوصلة الصاعدة وأيضاً مكمل لـ HSDPA، يعمل هذا النظام على تحسين تطبيقات المستخدمين بمعدلات نقل عالية تصل إلى 1.4Mbps في الوصلة الصاعدة، وتصل إلى 5.8Mbps في الإصدارات الأحدث. قدم كثيراً من الخدمات مثل البريد الإلكتروني وألعاب الشبكة في الزمن الحقيقي[16].

3.4.1.10 الجيل الرابع (4G):

هو الجيل الأحدث من شبكات الاتصال، حيث توفر معدل نقل بيانات تصل الى 100 Mbps.

يوفر حلاً متكاملاً معتمداً على العنوان المنطقي الآمن لتجهيزات الاتصال عريضة المجال من أجهزة الحاسب المحمولة والهواتف الذكية وغيرها.

التكامل بين الشبكة وتطبيقاتها في الجيل الرابع قوي وسلس، لا يوجد تأخيرات لكن ذلك على حساب التكلفة المرتفعة التي يجب أخذها بعين الاهتمام.

من مميزات الجيل الرابع نذكر ما يأتي:

- اعتماده على العنونة IP كجزء أساسي في عمله
- سرعات النقل تصل الى 100Mbps في الأجهزة المتحركة و1Gbps للأجهزة الثابتة
- الاعتماد على تقنية OFDMA بدلاً من المزيج الموجود في الجيل الثالث CDMA, IS-95
- تقدم تقنية OFDMA نفاذاً متعدداً بالتقسيم المتعامد للقناة الراديوية، وهي عبارة عن وسيلة تسمح بتقسيم القناة الى حزم ضيقة من أجل فعالية وجودة أكبر.
- تدعم العنونة باستخدام IPv6 وهذا يضيف جوانب مهمة من النواحي الأمنية والتوجيه وغيرها.

يوجد معياران أساسيان لشبكات الجيل الرابع حالياً، وهما:

LTE: يُعد النسخة الأحدث من UMTS المصمم من قبل مشروع 3GPP ويستخدم هذا النظام النفاذ المتعدد بالتقسيم الترددي التعامدي (OFDMA) [16].

تصل سرعة التحميل الى 150 Mbps كما إن تأخير رزمة الـ IP أقل من 5 ميلي ثانية، ومن ثمَّ فهو يوفر بيئة لاسلكية مشابهة لتلك البيئات السلكية عريضة المجال.

جرى تصميم شبكات الجيل الرابع من أجل زيادة السعة والسرعة لشبكات نقل البيانات باستخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية DSP.

WiMAX: هي تقنية للاتصال اللاسلكي عالي السرعة لخدمات الإنترنت إلى مناطق جغرافية واسعة.

حيث تتجاوز هذه التقنية المسافة المحددة بـ 30 متراً الموجودة في الشبكات اللاسلكية التقليدية فهي توفر شبكات محلية على مستوى المدنية (MAN) وصممت وفق المعيار IEEE 802.16.

يتجلى الخلاف في هاتين التقنيتين الأخيرتين فقط في مدى دعم الأجيال السابقة ومعدل نقل البيانات. فكلاهما يدعمان كل من OFDMA, MIMO.

3.4.1.11 الجيل الخامس (5G):

يعطي الجيل الخامس ثلاث مزايا جديدة في عالم التكنولوجيا، وهي قنوات أكبر، ومن ثمَّ القدرة على تسريع نقل البيانات، وزمن تأخير أقل، أي زمن الاستجابة سريع جداً، والقدرة على توصيل عدد كبير من الأجهزة في نفس الوقت.

أهم صفة في تكنولوجيا الجيل الخامس إمكانية العمل على أي تردد: منخفض أو متوسط أو مرتفع.

4 الفصل الرابع: التطبيق العملي

4.1 الأدوات المستخدمة في المحاكاة:

4.1.1 المحاكي **Mininet WIFI**

هو محاكٍ للشبكات اللاسلكية بُنِي بالاعتماد على محاكي **Mininet** على بيئة لينوكس **Linux** ، فهو يدعم الشبكات المعرفة برمجياً خاصة، ويتيح إمكانية محاكاة تقنيات الشبكات بكافة المجالات، يعطي إمكانية استخدام البنية التحتية اللاسلكية للشبكات من نقاط وصول افتراضية ومحطات بالإضافة الى كل الميزات المقدمة من **Mininet**.

يمكن معالجة رزم البيانات في الشبكات وتطبيق بروتوكولات خاصة في الشبكات المعرفة برمجياً أشهرها بروتوكول **Open Flow** ضمنه.

تعمل عملية المحاكاة الافتراضية للمحاكي **Mininet WI-FI** بشكل مشابه للمحاكي **Mininet**، أي يعتمد على الإجرائيات والعمليات التي يتم تشغليها ضمن بيئة لينوكس **Linux** وواجهات الشبكة الافتراضية، حيث تؤمن بيئة لينوكس العمل بتنسيق منطقي كما لو أن الأجهزة المستخدمة حقيقية وليست افتراضية.

إن أداء الواجهات الافتراضية تعتمد على الوظيفة التي تقوم بها، أي إنَّ المحطات ونقاط الوصول تعمل بحسب النمط المطلوب تماماً كما يحدث في حال عمل الواجهات اللاسلكية في بيئات حقيقية (مثلاً تكون مُدارة من قبل، متحكم مركزي، أو نظام موزع). تحتوي كل محطة افتراضية على واجهة لاسلكية افتراضية واحدة على الأقل، حيث يمكن إضافة واجهات لاسلكية عديدة إذا لزم الأمر.

يجري الاتصال بين المحطة ونقطة الوصول عموماً بالمصادقة والاقتران

4.1.2 **SUMO**

هو اختصار"Simulation of Urban Mobility"، هو أداة محاكاة لحركة مرور المركبات والعربات مفتوحة المصدر بطرق واسعة ومختلفة. يسمح بمحاكاة كيفية عمل بيئة مرور معينة تتكون من مركبات فردية عبر شبكة طرق معينة. إنها مجهرية بحتة بحيث صُمِّمت كل مركبة (العربة) بشكل واضح، ولها مسار خاص بها، وتتحرك بشكل فردي عبر شبكة الطرق. المحاكاة قابلة للتوقع بشكل افتراضي، ولكن هناك كثير من الخيارات لإدخال العشوائية.

لمحة تاريخية:

بدأ تطوير SUMO في عام 2000، وكان السبب الرئيس لتطوير محاكاة مجهرية مفتوحة المصدر لحركة المرور على الطرق هو دعم مجتمع الأبحاث العلمية المتعلقة بالمرور بأداة لديها القدرة على تنفيذ وتقييم الخوارزميات المرورية الخاصة بالمجتمع المذكور[17].

من خلال توفير مثل هذه الأداة، أراد DLR أن:

- يجعل الخوارزميات المنفذة أكثر قابلية للمقارنة باستخدام بنية مشتركة وقاعدة نموذجية.
- الحصول على مساعدة إضافية من المساهمين الآخرين.

يحتويSUMOعلى مجموعة مهمة من المميزات، نذكر منها:

- يشمل جميع التطبيقات اللازمة لإعداد وتنفيذ محاكاة حركة المرور (استيراد الشبكة والطرق، DUA ، المحاكاة)
- المحاكاة وتشمل:
  - حركة المركبات مستمرة ومتقطعة بالزمن.
  - أنواع مختلفة من المركبات (سيارات صغيرة، متوسطة، كبيرة).
  - شوارع متعددة الحارات مع قابلية انتقال السيارات بينها.
  - قواعد مختلفة لأولوية المرور وإشارات المرور.
  - واجهة مستخدم رسومية OpenGL سريعة.
  - القدرة على إدارة شبكات بعدد شوارع يصل إلى 10.000 حافة (شارع).
  - سرعة تنفيذ سريعة (تصل إلى 100.000 تحديث للمركبة / ثانية على جهاز بسرعة 1 جيجا هرتز).
  - إمكانية التشغيل البيني بشكل متكامل مع التطبيقات الأخرى في وقت التشغيل.
- استيراد الشبكة:
  - يمكن الاستيراد من VISUM، Vissim، Shapefiles، OSM، RoboCup، MATSIM، OPENDRIVE، وXML-Descriptions.
  - يتم تحديد القيم المفقودة من خلال الاستدلال والتوجيه.
- التوجيه:
  - طرق مجهرية – لكل مركبة طريق خاص بها.
  - خوارزميات ديناميكية مختلفة يحددها المستخدم.

- قابلية عالية:
  - تستخدم لغة C++ القياسية والمكتبات المحمولة فقط.
  - قابل للعمل على أنظمة تشغيل Windows و Linux.
- قابلية عالية للتشغيل البيني من خلال استخدام بيانات XML فقط.
- المصدر المفتوح (EPL 2.0)[18] .

أمثلة على الاستخدام:

منذ عام 2001، استخدمت حزمة SUMO في سياق كثير من مشاريع البحث الوطنية والدولية. تضمنت التطبيقات:

- تقييم إشارات المرور.
- اختيار الطريق وإعادة التوجيه.
- تقييم أساليب مراقبة حركة المرور.
- محاكاة اتصالات المركبات.
- توقعات حركة المرور.

البرامج المتضمنة:

اسم البرنامج	شرح مختصر
sumo	المحاكاة المجهرية بدون واجهات رسومية، فقط تطبيق سطر الأوامر
sumo-gui	المحاكاة المجهرية بواجهة مستخدم رسومية
netconvert	مستورد ومولِّد للشبكة، يقرأ شبكات الطرق من تنسيقات مختلفة ويحولها إلى تنسيق SUMO
netedit	محرر شبكة رسومي
netgenerate	يولد شبكات مجردة لمحاكاة SUMO
duarouter	يحسب أسرع المسارات عبر الشبكة بناءً على محددات مختلفة
jtrrouter	يحسب الطرق باستخدام نسب دوران الوصلات
dfrouter	يحسب المسارات من قياسات حلقة الاستقراء

marouter	ينفذ مهمة مجهرية
od2trips	يحلل مصفوفات O / D في رحلات مركبة واحدة
polyconvert	يستورد نقاط الاهتمام والمضلعات من تنسيقات مختلفة ويترجمها إلى وصف يمكن تخيله بوساطة sumo-gui
activitygen	يولد طلبًا بناءً على رغبات التنقل لمجموعة سكانية منمذجة
emissionsMap	يولد خريطة الانبعاثات
emissionsDrivingCycle	تحسب قيم الانبعاث بناءً على دورة قيادة معينة

جدول (4-1) البرامج المتضمنة فيsumo

4.1.3 المتحكم **OPEN DAYLIGHT (ODL)**

عبارة عن نظام أساسي مفتوح معياري لتخصيص وأتمتة الشبكات من أي حجم ومقياس. نشأ مشروع Open Daylight نتيجة حركة SDN، مع تركيز واضح على قابلية برمجة الشبكة. صُمّم منذ البداية كأساس للحلول التجارية التي تعالج مجموعة متنوعة من حالات الاستخدام في بيئات الشبكات المستخدمة.

Open Daylight هي منصة تحكم SDN مفتوحة المصدر و الأكثر انتشارًا لتوفير آلية التحكم المركزي ومراقبة الشبكة[6]، وفي غضون 8 سنوات فقط ، كانت قادرة على ضم 13 إصدارًا ، وأكثر من 1000 authors/submitters ، 100 ألف commits ، ويعمل على تشغيل شبكات من مليار من مشتركين عالميين.

جرى دمج كود Open Daylight أو تضمينه في أكثر من 35 من حلول الشركات والتطبيقات، ويمكن استخدامه ضمن مجموعة من الخدمات الأخرى. كما إنه في صميم أطر عمل مفتوحة المصدر أوسع، بما في ذلك ONAP.

وبصفه جزءاً من LF Networking، فإن ODL مدفوعة بمجتمع عالمي تعاوني من المؤسسات والشركات والمستخدمين التي تتكيف باستمرار لدعم أوسع مجموعة من حالات استخدام SDN وNFV في الصناعة.

معمارية Open Daylight: مقاد بشكل نموذجي

جوهر منصة Open Daylight هو طبقة تجريد الخدمة المقادة بالنموذج (MD-SAL).

في Open Daylight يجري تمثيل جميع أجهزة الشبكة الأساسية وتطبيقات الشبكة ككائنات أو نماذج تُعالج تفاعلاتها داخل Service Abstraction Layer (SAL).

SAL هي آلية لتبادل البيانات والتكيف بين نماذج YANG التي تمثل أجهزة وتطبيقات الشبكة. توفر نماذج YANG أوصافًا عامة لإمكانيات الجهاز أو التطبيق دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل التنفيذ المحددة للآخر. داخل SAL، تحدد النماذج ببساطة من خلال أدوار كل منها في تفاعل معين. نموذج "المنتج" producer ينفذ API ويوفر بيانات API، يستخدم نموذج "المستهلك" consumer واجهة برمجة التطبيقاتAPI ويستهلك بيانات واجهة برمجة التطبيقاتAPI. في حين أن "الاتجاه الشمالي" northbound و "الجنوبي" southbound يوفران رؤية مهندس الشبكة لـ SAL، فإن "المستهلك" و "المنتج" هما أوصاف أكثر دقة للتفاعلات داخل SAL[19][20]. مثلاً، يمكن أن يكون المكون الإضافي للبروتوكول والنموذج المرتبط به إما منتجًا للمعلومات حول الشبكة الأساسية، وأمّا مستهلكًا لتعليمات التطبيق التي يتلقاها عبر SAL.

تطابق SAL المنتجين والمستهلكين من مخازن البيانات الخاصة بها وتبادل المعلومات. يمكن للمستهلك العثور على مقدم الخدمة الذي يهتم به. ويمكن للمنتِج إنشاء إشعارات، يمكن للمستهلك تلقي الإشعارات وإصدار RPCs للحصول على البيانات من الموفرين. يمكن للمنتج إدخال البيانات في وحدة التخزين الخاصة بـ SAL، يمكن للمستهلك قراءة البيانات من تخزين SAL. يقوم المنتج بتنفيذ API ويوفر بيانات API، يستخدم المستهلك واجهة برمجة التطبيقات API ويستهلك بيانات واجهة برمجة التطبيقات API.

منمذج ومتعدد البروتوكولات

جرى تصميم منصة ODL للسماح لمقدمي الحلول بأقصى قدر من المرونة في بناء وحدة تحكم لتناسب احتياجاتهم. يسمح التصميم المعياري لمنصة ODL لأي شخص في النظام البيئي لـ ODL بالاستفادة من الخدمات التي أنشأها الآخرون، لكتابة ودمج المنصة الخاصة بهم، ومشاركة عملهم مع الآخرين. يتضمن ODL دعمًا لأوسع مجموعة من البروتوكولات في أي منصة SDN – OpenFlow وOVSDB وNETCONF وBGP وغيرها الكثير، التي تعمل على تحسين قابلية برمجة الشبكات الحديثة وحل مجموعة من احتياجات المستخدمين.

يمكن اختيار البروتوكولات Southbound وخدمات مستوى التحكم المثبتة بوساطة MD-SAL، مع إمكانية اختيارها بشكل فردي أو كتابتها، وتجميعها معًا وفقًا لمتطلبات حالة استخدام معينة. جرى تصميم حزمة وحدة التحكم مع الأخذ بالاعتبار أربعة مكونات رئيسة (odlparent، controller، MD-SAL، yang tools). لما ذكر، يقوم المطور بإضافة مجموعة ذات صلة من المكونات الإضافية، ومعظم أو كل وظائف مستوى التحكم

Control Plane القياسية، وبعض المطورين يختارون عدداً محدداً من تطبيقات التحكم المضمنة والخارجية، التي تدار بوساطة سياسة العمل.

يجري عزل كل من هذه المكونات كميزة Karaf، لضمان أن العمل الجديد لا يتداخل مع الكود الناضج والمختبر. يستخدم Open Daylight OSGi وMaven لإنشاء حزمة تدير ميزات Karaf وتفاعلاتها.

يسمح هذا الإطار المعياري المنمذج للمطورين والمستخدمين بما يأتي:

- القدرة على تثبيت البروتوكولات والخدمات التي يحتاجون إليها فقط.
- الجمع بين الخدمات وبروتوكولات متعددة لحل مشاكل أكثر تعقيدا كلما دعت الحاجة.
- تطوير قدرات المنصة المفتوحة المصدر بشكل تدريجي وتعاوني.
- إمكانية تطوير ميزات مخصصة وذات قيمة مضافة لحالات الاستخدام المتخصصة للغاية بسرعة[21].

S3P: الأمان وقابلية التوسع والاستقرار والأداء

• يوفر مجتمع ODL تحسينات مستمرة عبر جميع مشاريعه في مجالات الأمان وقابلية التوسع والاستقرار والأداء أو "S3P". تعمل مجموعات الاختبار والتكامل، جنبًا إلى جنب مع الأشخاص من كل مشروع فردي، معًا لإجراء اختبارات مستمرة تمنح المطورين نتائج في الوقت الفعلي لمعرفة كيف تؤثر التغييرات في S3P. يجري تحسين عملية التطوير بشكل دوري للتأكد من القدرة على فهم ومراقبة التحسينات في كل مجال من هذه المجالات الأربعة. تعمل ODL أيضًا مع OPNFV لدعم مشروع اختبار أداء وحدة التحكم الذي من شأنه إنشاء اختبارات أداء على مستوى الصناعة لوحدات تحكم SDN في عمليات نشر آلية واقعية وكبيرة.

• الأمن هو مجال تركيز رئيس لـ ODL. توفر المنصة إطارًا للمصادقة والترخيص والمحاسبة (AAA)، فضلاً عن الاكتشاف التلقائي وتوفير أجهزة الشبكة ووحدات التحكم. بشكل عام، تتمتع البرامج مفتوحة المصدر بمزايا كبيرة عندما يتعلق الأمر بالأمان: يمكن لأي شخص العثور على الثغرات والإبلاغ عنها، يمكن الاعتماد على مجموعة واسعة من الخبراء والمطورين عبر الشركات لمناقشة وإصلاح نقاط الضعف، ويمكن للمجتمع ككل رؤية كيفية معالجة هذه المشكلات بشفافية وفهم إذا كان قد جرى إصلاح المشكلة بالفعل[19].

أمثلة على الاستخدام:

جرى تصميم Open Daylight ليكون نظامًا أساسيًا واسع النطاق للأغراض العامة لدعم مجموعة واسعة من حالات الاستخدام – بما في ذلك الحالات التي لم يتم اختراعها بعد. تقدم ODL فوائد SDN وNFV إلى شركات النقل والشركات والمؤسسات البحثية والمنظمات الأخرى مثل المدن والمناطق الحضرية. فيما يأتي وصف لبعض التطبيقات الأكثر شيوعًا لتقنية Open Daylight.

• التسليم الآلي للخدمة: تقديم الخدمات عند الطلب التي قد يتحكم فيها المستخدم النهائي أو مزود الخدمة. يتعرض موفرو محتوى الاتصالات والمحتوى الأعلى (OTT) وكذلك المؤسسات الرئيسية لضغوط تنافسية متزايدة لتقديم خدمات جديدة بسرعة أكبر في المزيد من المواقع. تستلزم توقعات العملاء، التي حددتها تجارب المستهلك عبر الإنترنت، حاجة متزايدة إلى إصلاح النماذج التشغيلية والتجارية لتجنب التخلف عن الركب. أساليب تقديم الخدمة التقليدية التي تتضمن عمليات يدوية مكثفة، وتكوين منفصل، وتوفير، وأنظمة ضمان الخدمة، ومركزية الأجهزة، تحد بشكل كبير من سرعة تقديم الخدمات الجديدة والابتكار. ومن ثمَّ، من المهم على الإطلاق بالنسبة للمشغلين ومجموعات تكنولوجيا المعلومات الخاصة بالمؤسسات تبني التحول الوشيك الذي يحفزه SDN وNFV. تمكّن شبكة SDN مفتوحة المصدر البنية التحتية للشبكة المستقلة عن المورّد والأجهزة الضرورية لإصلاح دورة حياة تقديم الخدمة. تعد أتمتة العناصر المادية والافتراضية أمرًا ضروريًا لتحقيق مزايا من الوقت إلى السوق[22].

• الحوسبة السحابية والمحاكاة الافتراضية لوظائف الشبكة NFV: تقديم خدمة رشيقة Agile على البنية التحتية السحابية في بيئة المؤسسة أو مزود الخدمة. غالبًا ما يكون الأساس هو OpenStack، ويمكن تنفيذ الخدمات باستخدام المحاكاة الافتراضية لوظائف الشبكة (NFV) Network Functions Virtualization. يستغل مقدمو خدمات الاتصالات (CSPs) Communications Service Providers أيضًا التقنيات السحابية لتعزيز قابلية الإدارة والفعالية من حيث التكلفة للبنى التحتية الواسعة لشبكاتهم، مع تعزيز سرعة الخدمة أيضًا. تعاون العديد من مشغلي الاتصالات والكابلات الرائدين في العالم في محاكاة وظائف الشبكة الافتراضية (NFV) للترويج لإطار معماري مفتوح ونظام بيئي لدعم مجموعة واسعة من حالات الاستخدام. لقد أتاح NFV رؤية جديدة لبنية الشبكة الحالية، التي يجب أن تكون أكثر مرونة في مواجهة متطلبات والسعة المتزايدة بشكل كبير للخدمات المتنوعة. تظهر الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN) بسرعة كبنية شبكات ديناميكية لمعالجة متطلبات الشبكات السحابية وNFV. في صميم البنية توجد وحدة تحكم SDN، التي تعرض واجهات برمجة التطبيقات المفتوحة لمجموعة متنوعة من التطبيقات، ودعم البائعين لمجموعة من أجهزة الشبكات، وقابلية برمجة الشبكة التي تتيح التحكم الذكي وإدارة الشبكة. يسعى مشغلو الشبكات جاهدين للحصول على نظام أساسي مفتوح يدعم حالات الاستخدام المتنوعة لمتطلبات المستخدم النهائي، مع تقليل التكاليف الإجمالية في نفس الوقت. تعد البرامج مفتوحة المصدر المحايدة

من قِبل البائع عامل التمكين الأساسي، حيث تحفز المشغلين والموردين على التعاون والاستفادة من هذا الابتكار الجماعي على المدى الطويل، مع تجنب الانغلاق الذي ميز الشبكات لأجيال[23].

• تحسين موارد الشبكة Network Resources Optimization (NRO): تحسين الشبكة ديناميكيًا بناءً على الحمل والحالة. هذه هي حالة الاستخدام الأكثر شيوعًا للناقل حيث إنها تعمل على تحسين الشبكة باستخدام حالة الوقت شبه الحقيقي لحركة المرور والطوبولوجيا والمعدات، تستخدم NRO مجموعة متنوعة من بروتوكولات الاتجاه الجنوبي (مثلاً NETCONF أو BGP-LS أو OpenFlow) اعتمادًا على الشبكة الأساسية. بالإضافة إلى استخدامها "تحت الغطاء" من قبل كثير من شركات الاتصالات ومشغلي الكابلات، تعد هذه حالة الاستخدام الأفضل للمؤسسات والمؤسسات المالية. تواجه البنية التحتية للشبكة تحديًا كبيرًا بسبب النمو القوي لحركة المرور المدفوع بالحوسبة المتنقلة، وبث الفيديو والصوت، وظهور الخدمات المستندة إلى السحابة. غالبًا ما لا يكون إضافة المزيد من الأجهزة وزيادة الفرق التي تديرها خيارًا. تتعرض الشركات ومقدمو الخدمات لضغوط من المستثمرين للقيام بالمزيد بموارد أقل، ونتيجة لذلك، لم يكن مشغلو الشبكات أكثر حماسًا من أي وقت مضى لضمان أعلى عائد على الاستثمار من استثماراتهم في الشبكة. تتجه الشركات ومقدمو الخدمات إلى SDN لتحسين كفاءة بنيتهم التحتية وعملياتهم. من خلال التحكم المركزي، وتقديم ذكاء وانفتاح غير مسبوقين، يمكن أن توفر SDN لمشغلي الشبكات الأدوات اللازمة لتحسين بنيتهم التحتية بشكل لم يسبق له مثيل[24].

• الرؤية والتحكم: إدارة مركزية للشبكة ووحدات تحكم متعددة. يستخدم هذا أحيانًا بوساطة شركات النقل أو المؤسسات كسلعة لـ NRO. في حين تستحوذ طبقة التحكم على نصيب الأسد من الاهتمام في مجتمع SDN، فإن تحويل مستوى إدارة الشبكة مهم بنفس القدر. تقدم SDN وعدًا كبيرًا لتحسين خفة الحركة مع تقليل التكاليف في الوقت نفسه عبر مجموعة واسعة من حالات الاستخدام. ومع ذلك، فإن إدارة الشبكات الافتراضية والمادية والهجينة والتطبيقات المتنوعة والأجهزة من بائعين متعددين معًا يمثل تحديًا كبيرًا. من خلال تمكين الأتمتة والذكاء غير المسبوق ووجهات النظر على مستوى المجال، توفر SDN إمكانية تحويل إدارة الشبكة بقدر ما يزيد عن تقديم الخدمات إن لم يكن أكثر. تعمل هذه الصفات أيضًا على تعزيز إدارة الأمان، التي تستفيد بالفعل من بنية SDN. وفي حالة انقطاع دراماتيكي عن الماضي، يمكن تقديم إدارة الشبكة والأمان بشكل فعال ومحايد للبائعين في بيئة متعددة البائعين[25].

4.1.4 محلل الشبكة **Wireshark**:

هو برنامج متخصص بتحليل بروتوكولات الشبكة مفتوح المصدر يتيح معرفة ما يحدث بالشبكة على مستوى مجهري، وهو أحد المعايير الفعلية عبر كثير من المؤسسات التجارية وغير الربحية والوكالات الحكومية والمؤسسات التعليمية. يسهم في تطور البرنامج المساهمات التطوعية من خبراء الشبكات في جميع أنحاء العالم وهو استمرار لمشروع بدأه Gerald Combs في عام 1998[26].

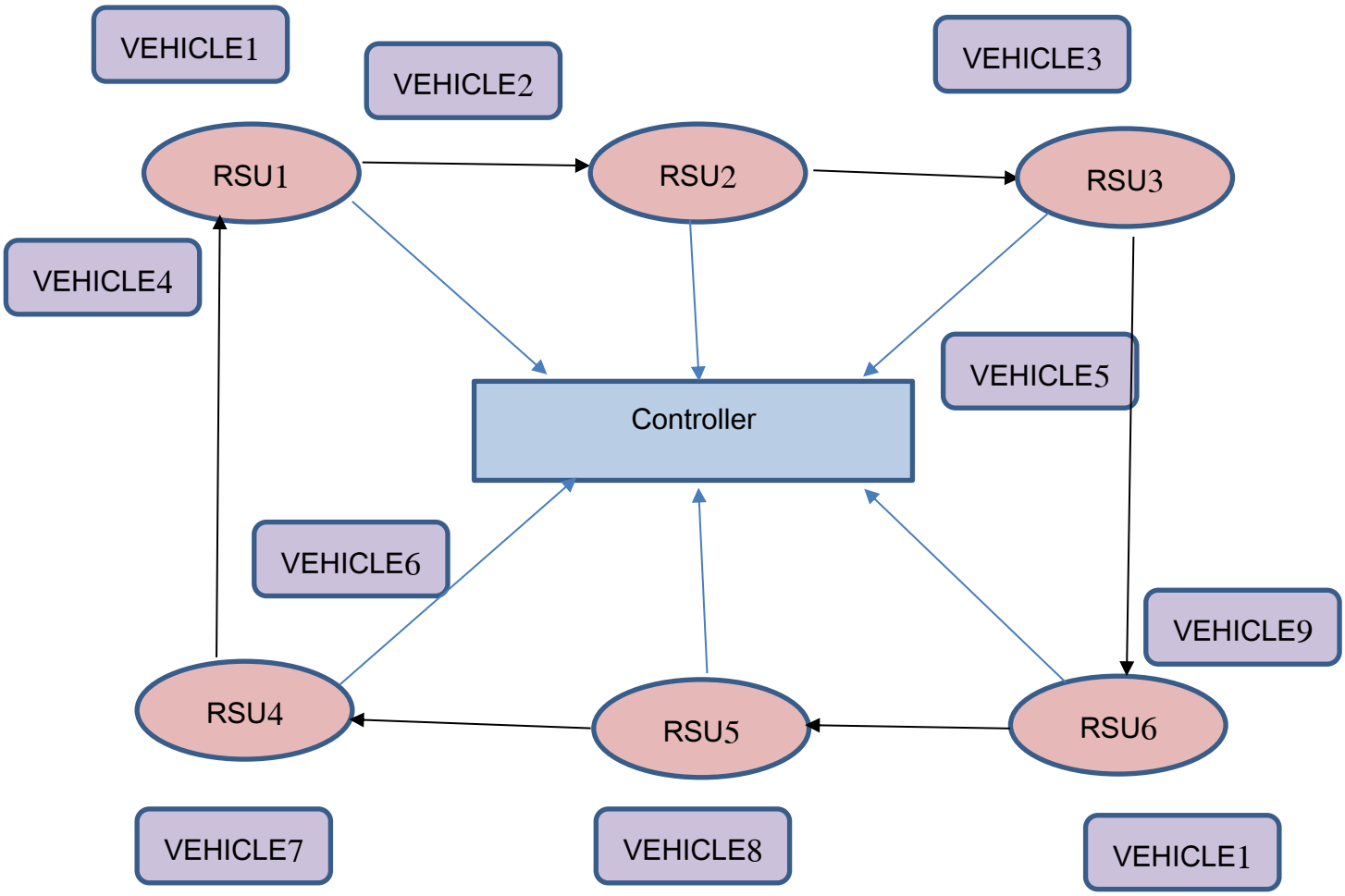
يحتوي Wireshark على مجموعة مهمة من المميزات، نذكر منها:

- فحص عميق ودقيق لمئات البروتوكولات مع إضافة المزيد مع الوقت.
- الالتقاط المباشر والقدرة على التحليل في وضع عدم الاتصال.
- قابل للعمل على أنظمة تشغيل Windows وLinux وmacOS وSolaris وFreeBSD وNetBSD وغيرها الكثير.
- يمكن استعراض وتحليل البيانات الملتقطة من خلال واجهة رسومية أو عبر الأداة TTY-mode TShark utility.
- يحتوي على فلاتر عرض قوية.
- قادر على تحليل رزم الVOIP بشكل فعال وقوي.
- قراءة وكتابة كثير من تنسيقات ملفات الالتقاط، ومنها:
  - tcpdump (libpcap).
  - Pcap NG
  - Catapult DCT2000
  - Cisco Secure IDS iplog
  - Microsoft Network Monitor
  - Network General Sniffer® (compressed and uncompressed)
  - Sniffer® Pro
  - ®NetXray
  - Network Instruments Observer
  - NetScreen snoop
  - Novell LANalyzer
  - RADCOM WAN/LAN Analyzer
- الملفات الملتقطة المضغوطة باستخدام gzip يمكن فك ضغطها بسرعة وسهولة فائقة.

- رزم البيانات يمكن التقاطها بشكل مباشر من (البيانات الحية) من Ethernet و IEEE 802.11 و PPP / HDLC و ATM و Bluetooth و USB و Token Ring و Frame Relay و FDDI وغيرها.
- يدعم فك تشفير كثير من البروتوكولات منها: IPsec و ISAKMP و Kerberos و SNMPv3 و SSL / TLS و WEP و WPA2 / WPA.
- القدرة على التصدير والإخراج إلى XML أو PostScript® أو CSV أو حتى نص عادي.

4.2 الدراسة التحليلية:

سنوضح في هذا القسم مكونات النظام المدروس بعيداً عن أي تطبيق عملي. ويوضح الشكل الآتي بنية الشبكة المقترحة وعناصرها:



الشكل (4-1) الشكل العام للشبكة المدروسة

نلاحظ من الشكل عدداً من العناصر التي تعبر عن وحدات جانب الطرقات**RSU**، بالإضافة الى المتحكم المركزي المرتبط مع وحدات جانب الطرقات بشكل نجمي، ومجموعة من السيارات عدد10.

العربات تحتوي على بطاقتين لا سلكتين، بطاقة تمكنها من التخاطب مع وحدات جانب الطرقات، والبطاقة الثانية تمكنها من التواصل مع السيارات الأخرى.

- لكل عقدة (سيارة) **TWO INTERFACE NETWORK CARDS**:

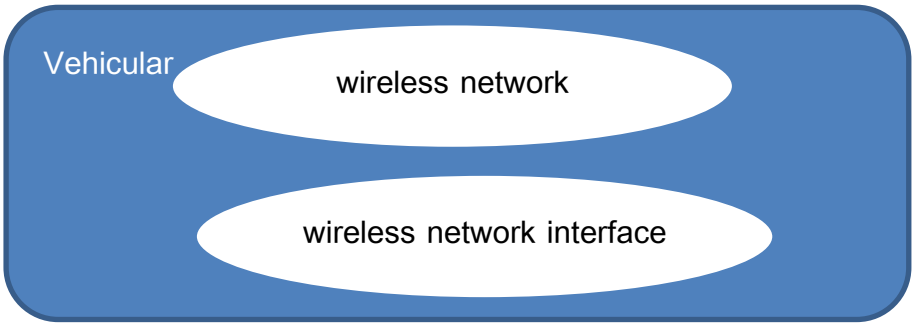
الأول للاتصال مع شبكة ال **SDN** على **wlan1** وفق **Network IP 192.169.1.0/24**.

يتم الاتصال في هذه الحالة من خلال **LTE** بشكل لاسلكي.

الثاني للاتصال ضمن شبكة **VANET** على **mp1** وفق **Network IP 192.168.0.0/24**.

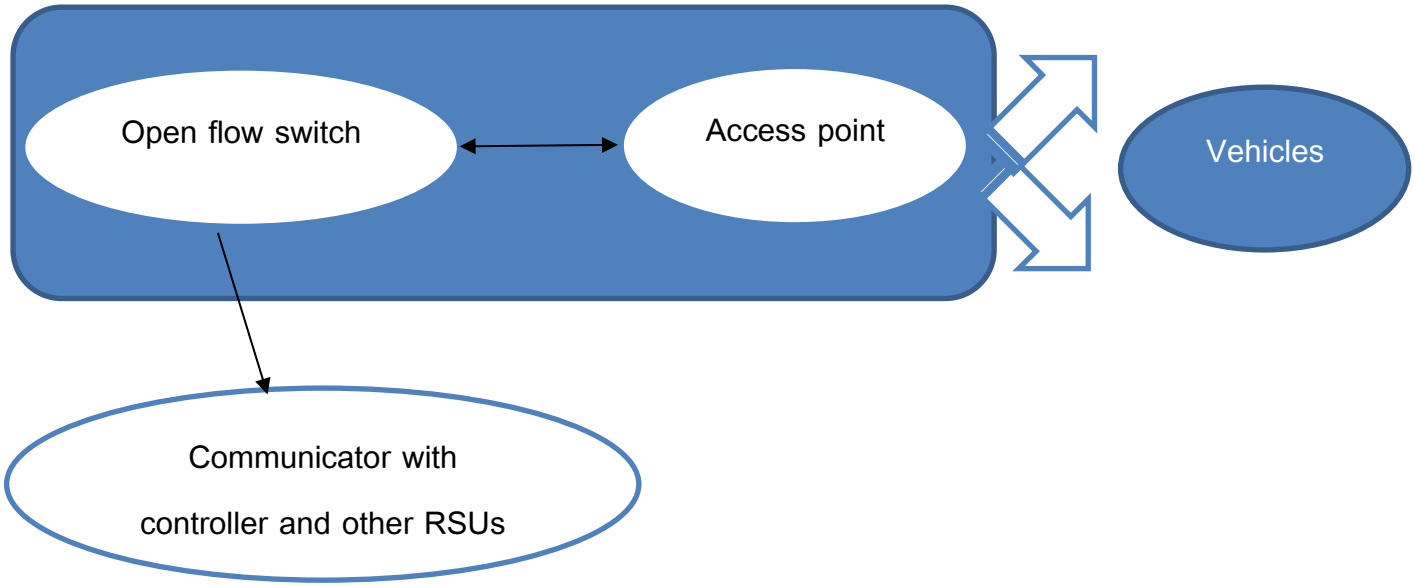
يكون الاتصال بين العقد اللاسلكية (العربات) **AD-Hoc** بشكل مخصص.

العقد (العربات) تتواصل مع وحدات جانب الطرقات فقط، ولا يمكنها الوصول إلى المتحكم المركزي بشكل مباشر.



الشكل (4-2) بنية العقدة المتحركة في الحل المقترح

أما وحدة جانب الطرقات فهي تتألف من مركبتين تعمل إحداهما كمبدلة عادية تدعم بروتوكول **OPEN FLOW**، وتتصل مع المتحكم المركزي وفقه، والمركبة الأخرى هي نقطة وصول تحاكي بطاقة لاسلكية للسيارة ويُوضح ذلك كما في الشكل الأتي:



الشكل (4-3) بنية الوحدات الطرفية الجانبية في الحل المقترح

4.3 الدراسة التصميمية:

سيوضّح كيفية تنفيذ التطبيق العملي في هذه الورقة البحثية وفق ما يأتي:

قمت بالبداية بالتعرف على الأداة Mininet-WiFi، وهي أداة مصممة خصيصاً للعمل في تطبيقات ومحاكاة الشبكات المعرفة برمجياً.

وبعد البحث بشكل موسع في مرحلة الدراسات المرجعية عن مفهوم الشبكات المعرفة برمجياً وشبكات العربات المخصصة، جرى اختيار أداة SUMO فهي أداة تشمل جميع التطبيقات اللازمة لإعداد وتنفيذ محاكاة حركة المرور (استيراد الشبكة والطرق، DUA، المحاكاة) فهي خاصة بشبكات العربات المخصصة VANET، ومناسبة للتعامل مع الشبكات المعرفة برمجياً SDN.

تم القيام بالخطوات الآتية:

- تنصيب Mininet-WiFi والتعرف على كيفية التعامل معها والخصائص والميزات، فهي تدعم الشبكات اللاسلكية عموماً والشبكات المعرفة برمجياً، ثم نزّلت أداة SUMO على نفس نظام التشغيل Operation system Ubuntu 20.04.1 LTS

- تنزيل المتحكم Open Daylight على Java Virtual Machine (JVM)، منصب عليها نسخة من نظام التشغيل Operation system Ubuntu 20.04.1 LTS، ثم تنزيل نسخة Karaf الخاصة به وتشغيل نسخة المتحكم وفق التعليمات الآتية:

- تنزيل برنامج VMWare أو برنامج any virtual machine.
- تنزيل نسخة من نظام التشغيل Ubuntu 20.04.1 LTS ونسخة من المتحكم Open Daylight على نظام التشغيل.
- تحضير virtual machine أخرى منفصلة عن الأولى وتنزيل نظام التشغيل Ubuntu 20.04.1 LTS عليها وثم تنزيل Mininet-WiFi.
- متحكم Open Daylight هو برنامج JAVA، لذلك جرى تثبيت بيئة Java run-time environment من خلال

-sudo apt-get install openjdk-7-jdk

-sudo apt-get install openjdk-7-jre

- تنزيل Maven فهي أداة لإدارة وبناء وفهم والتعامل للمتحكم من خلال تنفيذ التعليمة[27]

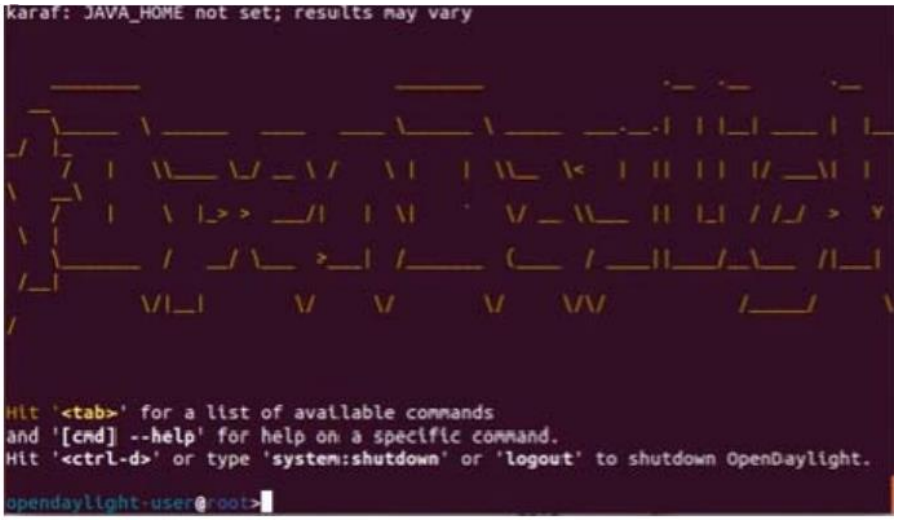
-sudo apt-get install maven

- فك ضغط الملف الناتج وتنفيذ التعليمة الآتية ليتم بدء تشغيل المتحكم كـ command line

• cd ODL/bin

• :-/ODL/bin$ ./karaf –of13

عند بدء تشغيل المتحكم يظهر كما في الشكل:



الشكل (4-4) تشغيل خاصة Karaf ضمن المتحكم ODL

- وأخيرا يجري تنزيل ميزات الأساسية [28] للمتحكم ODL ضمن نفس المسار تنزيل Karaf

feature: install odl-restconf.

feature: install odl-l2switch-switch.

feature: install odl-mdsal-apidocs.

feature: install odl-dlux-core.

feature: install odl-dluxapps-topology.

feature: install odl-dluxapps-nodes.

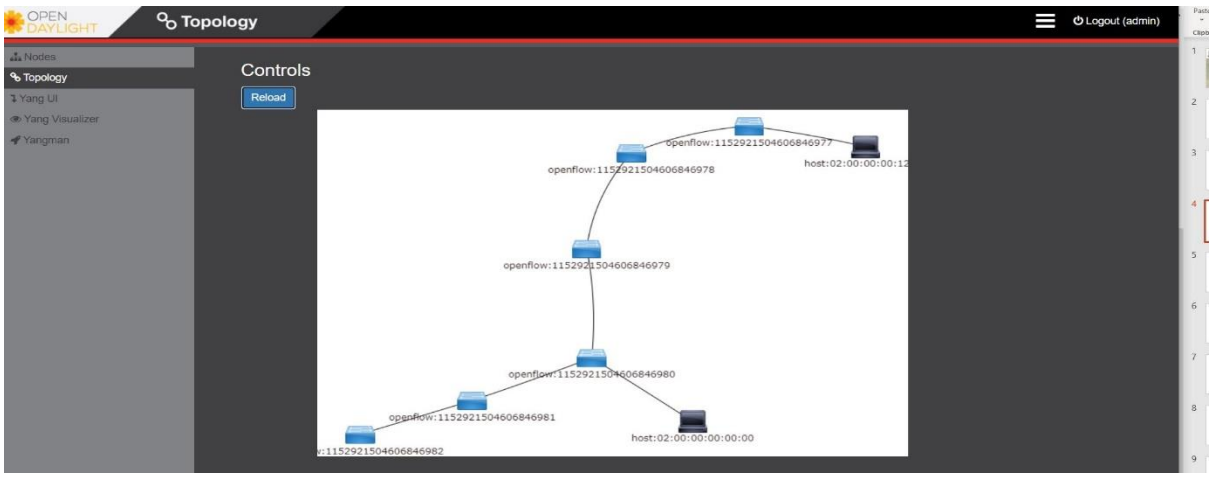


الشكل (4–5) تنزيل ميزات المتحكم ODL

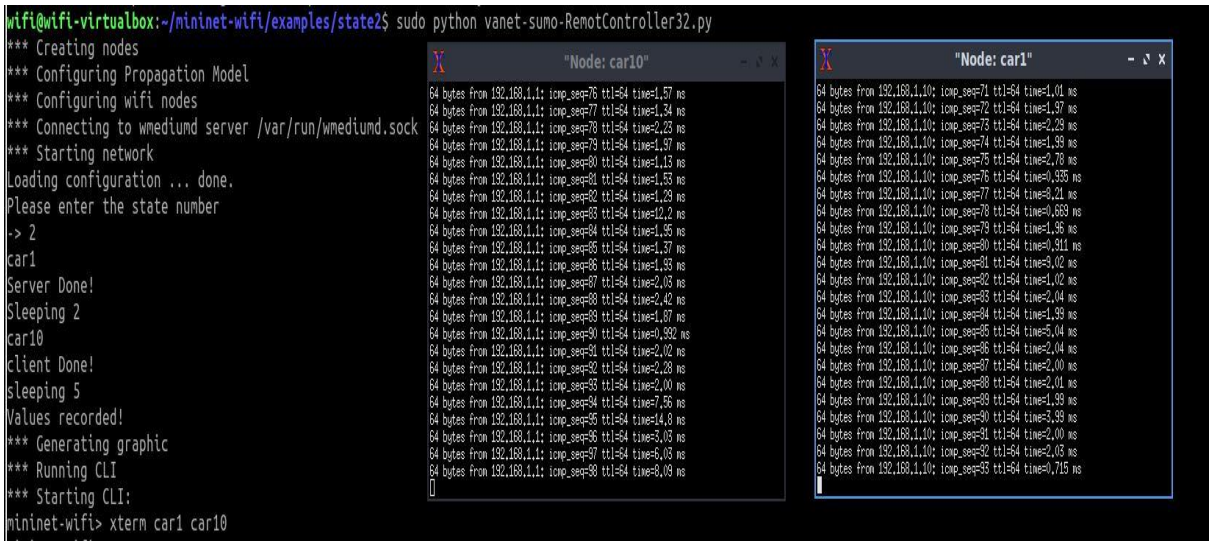
- يجري التعرف على كيفية تنفيذ السيناريوهات المفروضة وإجراء عملية المحاكاة وتصدير النتائج على شكل ملفات **Wireshark**.
- من أجل الاختبار نستخدم **Iperf** لتوليد دفق رزم متواصلة، فهي أداة مخصصة لقياس أداء واكتشاف مشاكل الشبكة، فهي تولد دفقاً مستمراً لـ**TCP/IP** أو **UDP** وتوفر إمكانية القياس وفقاً لعرض النطاق الترددي أو زمن وصول الرزم[29]. ويتم تطبيق دفق رزم البيانات بين السيارة 1 والسيارة الأخيرة بحسب عدد السيارات، تعتبر السيارة الأولى هي المخدم **Iperf –s**، والسيارة الأخيرة هي العميل **'IP–server' Iperf –c**.
- يتم التركيز في البحث على محددات الشبكة الآتية:
  - معدل التدفق **throughput** أي معدل الرزم التي تم إرسالها مقدرة بالبايت. ويتم حسابها وفق المعادلة الآتية:

$$throughput(B/sec) = \frac{sequnce\ number * 8}{time}$$

  - زمن وصول الرزم بين العقد (السيارات) السيارة الأولى (المخدم) والسيارة الأخيرة (العميل).



الشكل (4–6) طوبولوجيا الشبكة ضمن المتحكم



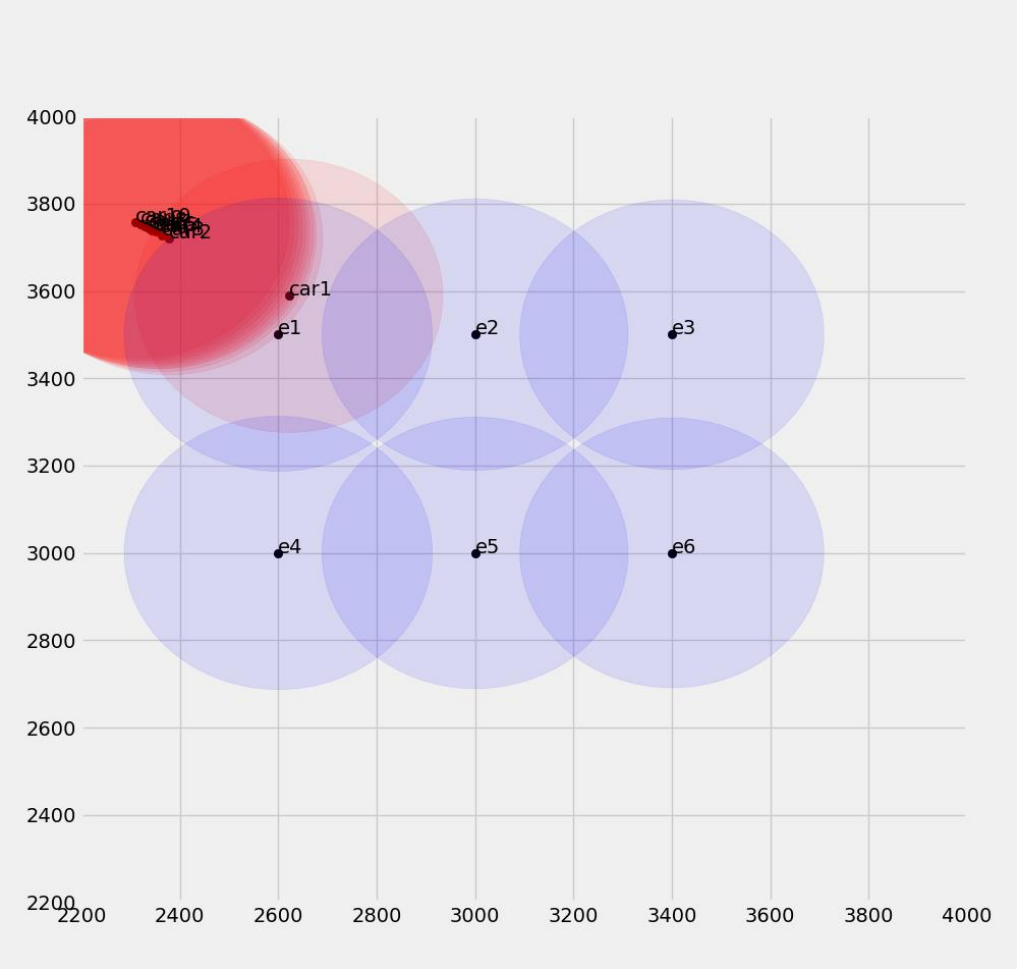
الشكل (4–7) الاتصال بين السيرفر و العميل

```
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e1
 cookie=0x2b00000000000006, duration=1282.945s, table=0, n_packets=258, n_bytes=31218, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000016, duration=1278.887s, table=0, n_packets=77, n_bytes=10632, priority=2,in_port="e1-eth2" actions=output:"e1-wlan1",CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000017, duration=1278.885s, table=0, n_packets=21, n_bytes=442, priority=2,in_port="e1-wlan1" actions=output:"e1-eth2",CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000006, duration=1282.967s, table=0, n_packets=3, n_bytes=482, priority=0 actions=drop
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e2
 cookie=0x2b00000000000007, duration=1359.308s, table=0, n_packets=544, n_bytes=65824, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000010, duration=1355.393s, table=0, n_packets=62, n_bytes=8518, priority=2,in_port="e2-eth3" actions=output:"e2-eth2",output:"e2-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b00000000000011, duration=1355.393s, table=0, n_packets=36, n_bytes=2556, priority=2,in_port="e2-eth2" actions=output:"e2-eth3",output:"e2-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b00000000000012, duration=1355.393s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority=2,in_port="e2-wlan1" actions=output:"e2-eth3",output:"e2-eth2",CONTROLLER:6
5535
 cookie=0x2b00000000000007, duration=1359.332s, table=0, n_packets=7, n_bytes=1085, priority=0 actions=drop
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e3
 cookie=0x2b00000000000008, duration=1364.720s, table=0, n_packets=547, n_bytes=66187, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000013, duration=1360.807s, table=0, n_packets=51, n_bytes=4670, priority=2,in_port="e3-eth2" actions=output:"e3-wlan1",output:"e3-eth3",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b00000000000014, duration=1360.802s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority=2,in_port="e3-wlan1" actions=output:"e3-eth2",output:"e3-eth3",CONTROLLER:6
5535
 cookie=0x2b00000000000015, duration=1360.802s, table=0, n_packets=47, n_bytes=6404, priority=2,in_port="e3-eth3" actions=output:"e3-eth2",output:"e3-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b00000000000008, duration=1364.721s, table=0, n_packets=6, n_bytes=964, priority=0 actions=drop
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e4
 cookie=0x2b00000000000009, duration=1370.197s, table=0, n_packets=549, n_bytes=66429, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b0000000000001d, duration=1366.420s, table=0, n_packets=30, n_bytes=4228, priority=2,in_port="e4-eth3" actions=output:"e4-eth2",output:"e4-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b0000000000001e, duration=1366.418s, table=0, n_packets=65, n_bytes=6581, priority=2,in_port="e4-eth2" actions=output:"e4-eth3",output:"e4-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b0000000000001f, duration=1366.416s, table=0, n_packets=2, n_bytes=62, priority=2,in_port="e4-wlan1" actions=output:"e4-eth3",output:"e4-eth2",CONTROLLER:
65535
 cookie=0x2b00000000000009, duration=1370.197s, table=0, n_packets=6, n_bytes=964, priority=0 actions=drop
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e5
 cookie=0x2b0000000000000a, duration=1373.554s, table=0, n_packets=551, n_bytes=66671, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b00000000000018, duration=1369.930s, table=0, n_packets=15, n_bytes=2114, priority=2,in_port="e5-eth3" actions=output:"e5-eth2",output:"e5-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b00000000000019, duration=1369.928s, table=0, n_packets=82, n_bytes=8757, priority=2,in_port="e5-eth2" actions=output:"e5-eth3",output:"e5-wlan1",CONTROLL
ER:65535
 cookie=0x2b0000000000001a, duration=1369.926s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority=2,in_port="e5-wlan1" actions=output:"e5-eth3",output:"e5-eth2",CONTROLLER:6
5535
 cookie=0x2b0000000000000a, duration=1373.554s, table=0, n_packets=4, n_bytes=558, priority=0 actions=drop
mininet-wifi> sh ovs-ofctl dump-flows e6
 cookie=0x2b0000000000000b, duration=1376.968s, table=0, n_packets=276, n_bytes=33396, priority=100,dl_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b0000000000001b, duration=1373.458s, table=0, n_packets=97, n_bytes=10871, priority=2,in_port="e6-eth2" actions=output:"e6-wlan1",CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b0000000000001c, duration=1373.457s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority=2,in_port="e6-wlan1" actions=output:"e6-eth2",CONTROLLER:65535
 cookie=0x2b0000000000000b, duration=1376.968s, table=0, n_packets=2, n_bytes=279, priority=0 actions=drop
```

الشكل (4–8) جداول التدفق بين المتحكم ووحدات جانب الطرقات

4.4 النتائج:

4.4.1 السيناريو الأول: تطبيق شبكات العربات المخصصة التقليدية دون الشبكات المعرفة برمجياً

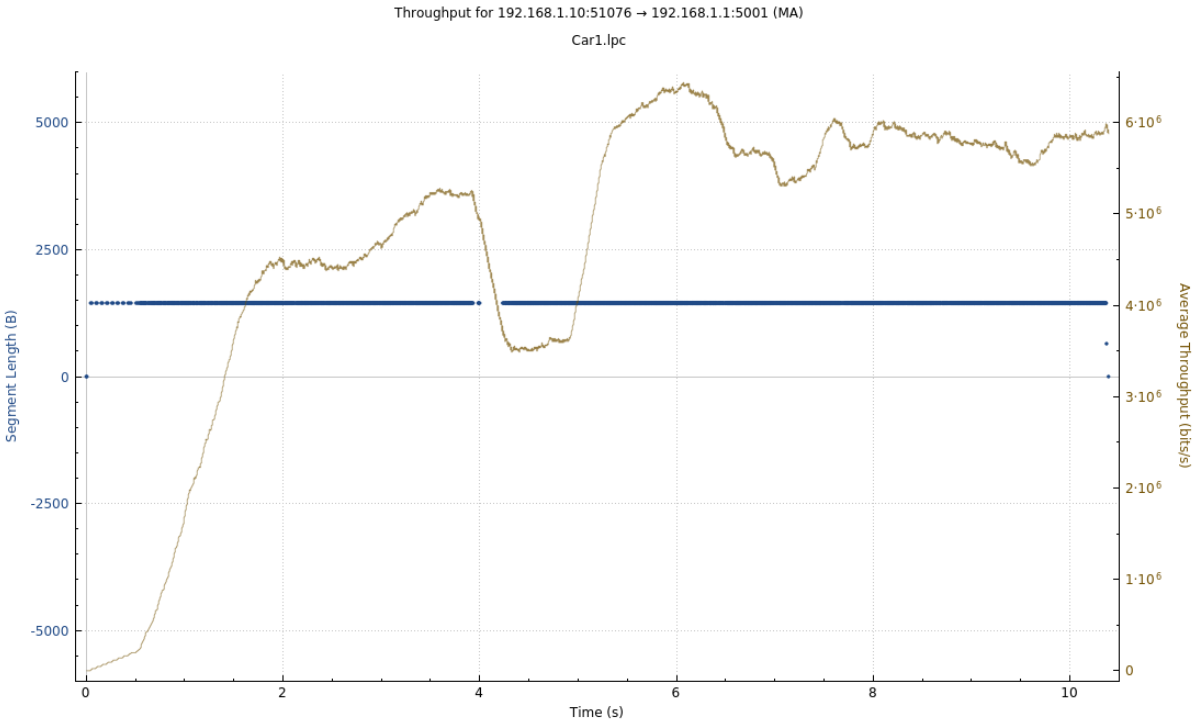


الشكل (4–9) توزع السيارات في حال السيناريو الأول

يوضح الشكل شبكة الVANET التقليدية، ستجري دراسة معدل دفق الرزم بين السيارة 1 والسيارة 10 بحيث يكون الاتصال بينهما V2V.

حيث السيارة1 هي المخدم تُرسل دفق من الرزم متواصل إلى السيارة 10 التي هي العميل.

وندرس معدل دفق البيانات.

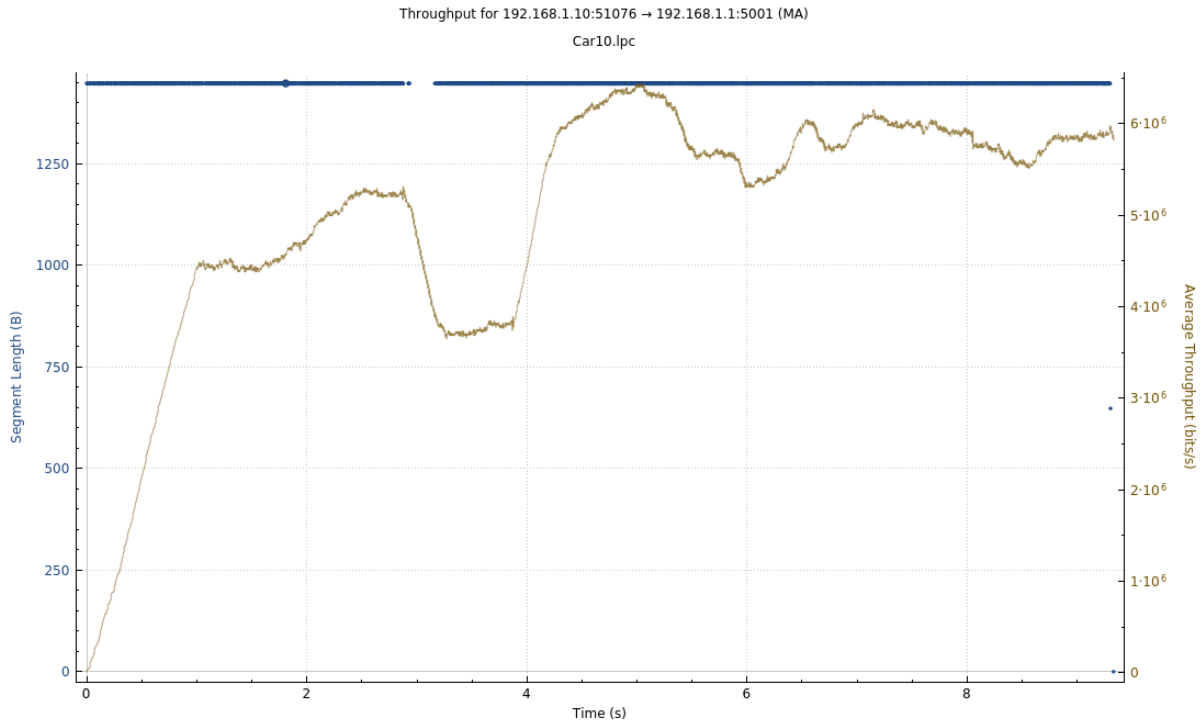


الشكل (4–10) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الأول

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) متوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدر(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل 10Mbit/sec والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوان.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر المخدم، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.

نلاحظ من المنحني انخفاضاً وارتفاعاً واضحاً، وهذا يدل على تفاوت في قيم معدل التدفق، ومن ثمَّ عدم وجود استقرار به.



الشكل (4-11) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الأول

يوضح الشكل أداء شبكة ال VANET من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) متوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدر(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل 10 Mbit/secوالفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

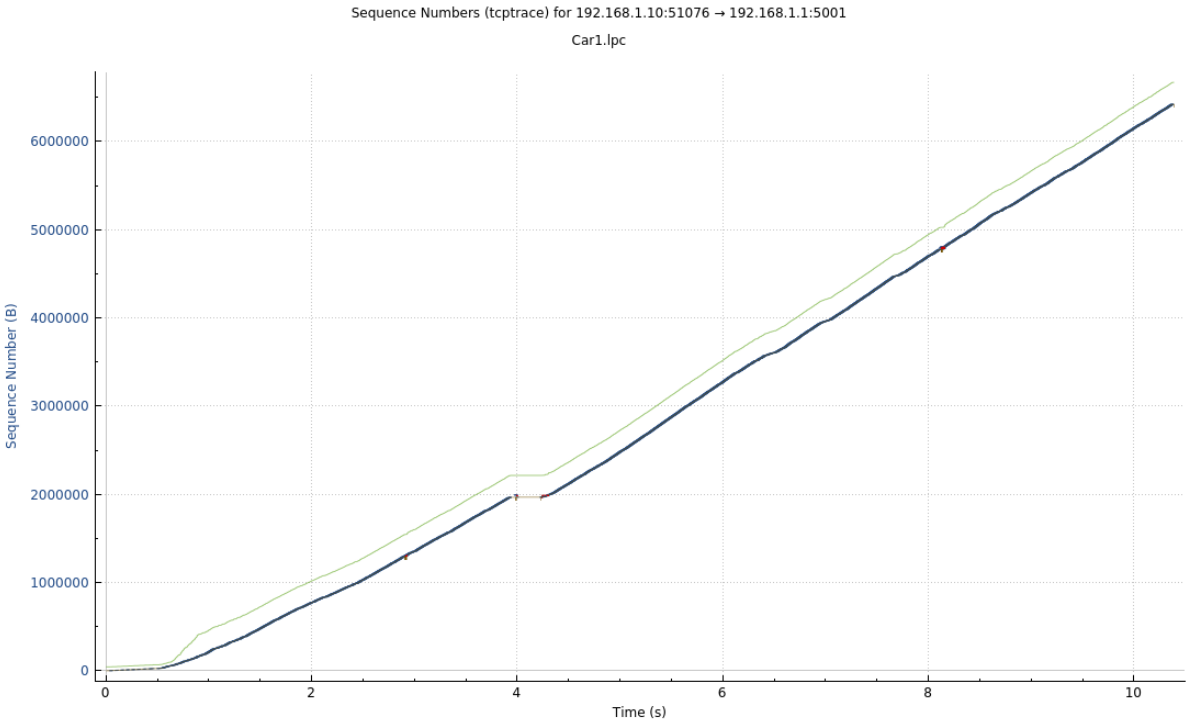
يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر العميل، حيث اعتبرت السيارة 10 هي العميل، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 10 الى السيارة 1.

نلاحظ من المنحني انخفاضاً وارتفاعاً واضحاً وهذا يدل على تفاوت في قيم معدل التدفق، ومن ثمَّ عدم وجود استقرار به.

From the standpoint of the server	
Time(s)	Throughput (Mb/s)
0.5	0.39
1	1.7
1.5	2.55
2	3.1
2.5	3.3
3	3.6
3.5	3.85
4	3.71
4.5	3.77
5	3.97
5.5	4.19
6	4.36
6.5	4.44
7	4.53
7.5	4.62
8	4.7
8.5	4.77
9	4.82
9.5	4.86
10	4.92
Average	3.8075

From the standpoint of the client	
Time(s)	Throughput (Mb/s)
0.5	4.28
1	4.44
1.5	4.36
2	4.58
2.5	4.72
3	4.33
3.5	4.37
4	4.54
4.5	4.75
5	4.92
5.5	4.93
6	4.99
6.5	5.09
7	5.13
7.5	5.19
8	5.21
8.5	5.23
9	5.28
9.5	5.3
10	5.29
Average	4.8465

جدول (4-2) قيم معدل التدفق في السيناريو الأول



الشكل (4-12) مخطط tcp trace للسيناريو الأول

يوضح المخطط المرسوم جانباً العلاقة بين عدد البيانات المرسلة خلال الزمن، حيث المحور (X) يعبر عن الزمن مقدراً بالثانية والمحور (Y) عن عدد البيانات المرسلة (Sequence Numbers) مقدرة بالبايت.

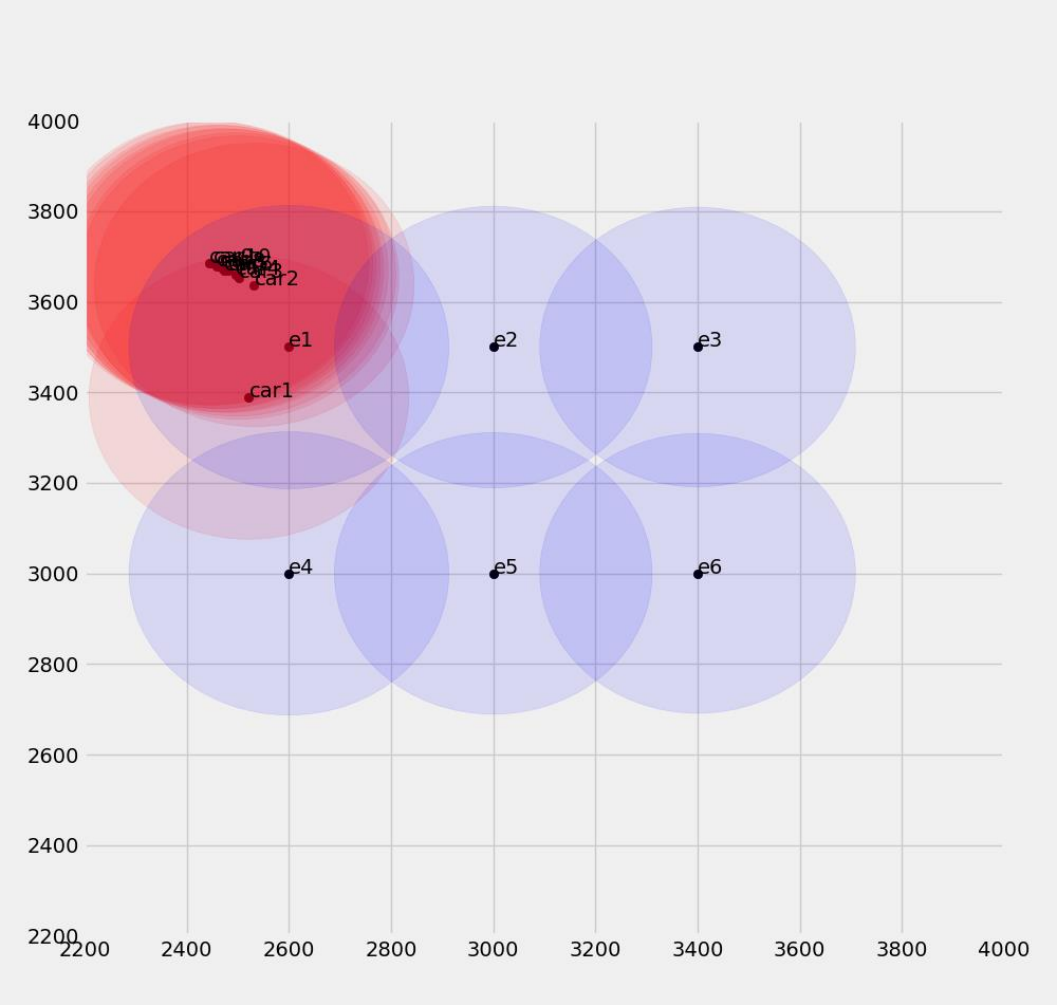
نلاحظ الانقطاع (التقطع) بالمنحني، فهذا يدل على نسبة الخطأ في إرسال ووصول الرزم في الشبكة.

تعد نسبة كبيرة نسبياً وهذا يؤثر في أداء الشبكة.

ميل المنحني يعبر عن bandwidth، كلما كان مقدار الميل أكبر كان أداء الشبكة أفضل.

المنحني الأخضر يعبر عن البايتات المرسلة من العميل الى المخدم، والمنحني الأزرق يعبر عن بايتات ACK المرسلة من المخدم الى العميل، والنقاط الحمراء تعبر عن ضياع (خطأ) في وصول الرزم المرسلة.

4.4.2 السيناريو الثاني: تطبيق شبكات العربات المخصصة مع الشبكات المعرفة برمجياً حيث العقد ضمن تغطية نقطة وصول واحدة.

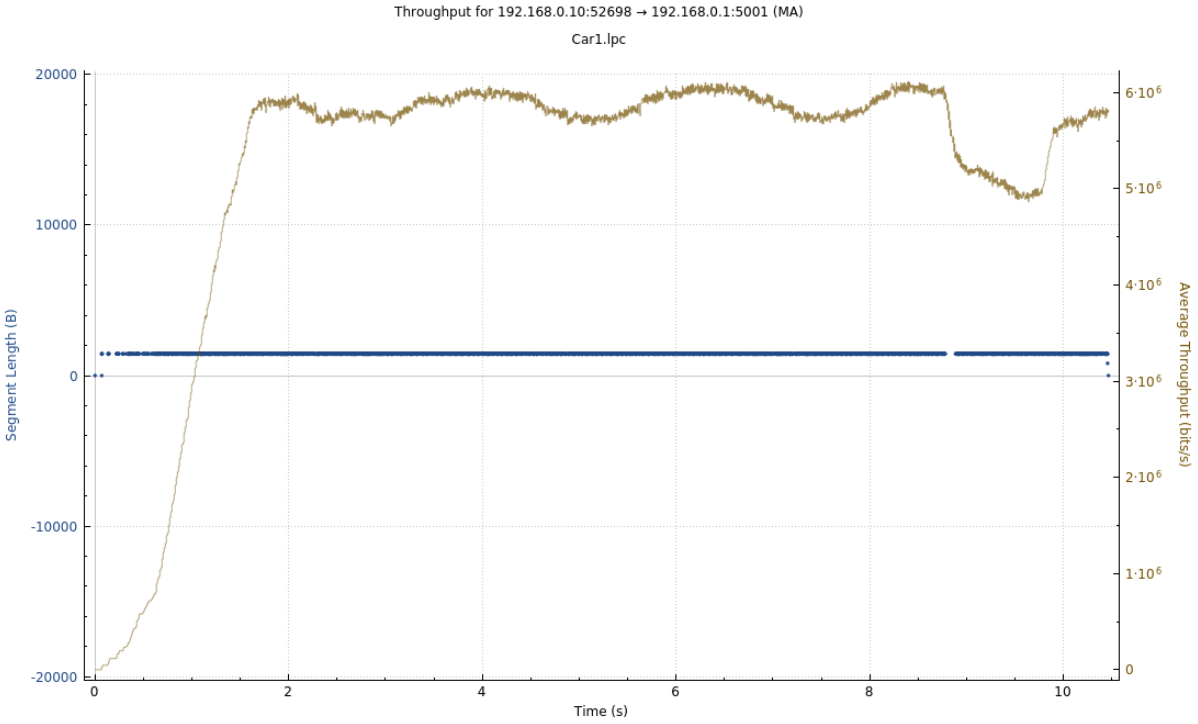


الشكل (4-13) توزع السيارات في حال السيناريو الثاني

في هذا السيناريو يجري تطبيق شبكات SDN على شبكات VANET مع وجود متحكم لشبكة SDN، تم استخدام Open Daylight Controller. يُدرس معدل دفق البيانات بين المخدم (السيارة 1) والعميل (السيارة 10) مع مراعاة أنها ضمن تغطية نقطة وصول واحدة، ومعرفة مدى تأثير عدد الازدحام في معدل نقل البيانات.

يوضح الشكل جانباً خريطة توزيع وحدات جانب الطرقات (نقاط الوصول أو التغطية) الموزعة ضمن المنطقة المدروسة، حيث جرى توزيعها لتغطية كاملة المنطقة.

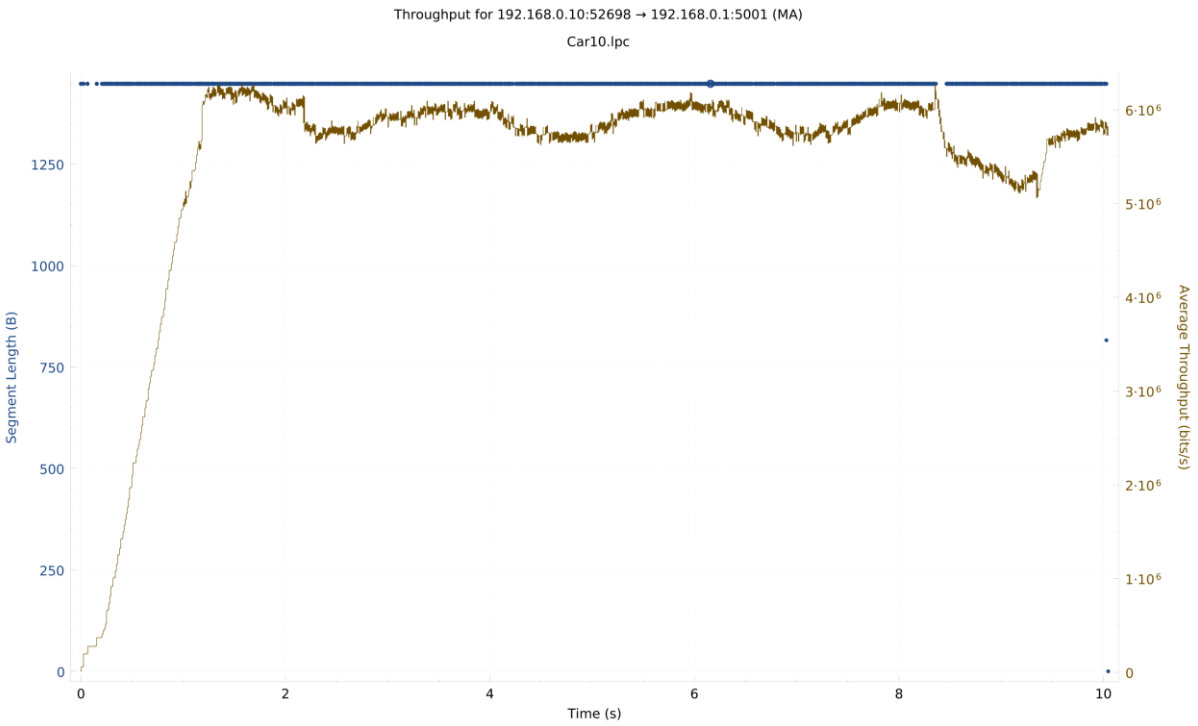
الدوائر الحمراء ترمز الى السيارات المتحركة (العقد المتحركة)، والدوائر الثابتة الى وحدات جانب الطرقات (العقد الثابتة).



الشكل (4-14) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الثاني

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) بمتوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدرة(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل Mbit/sec10 والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر المخدم، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.



الشكل (4–15) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الثاني

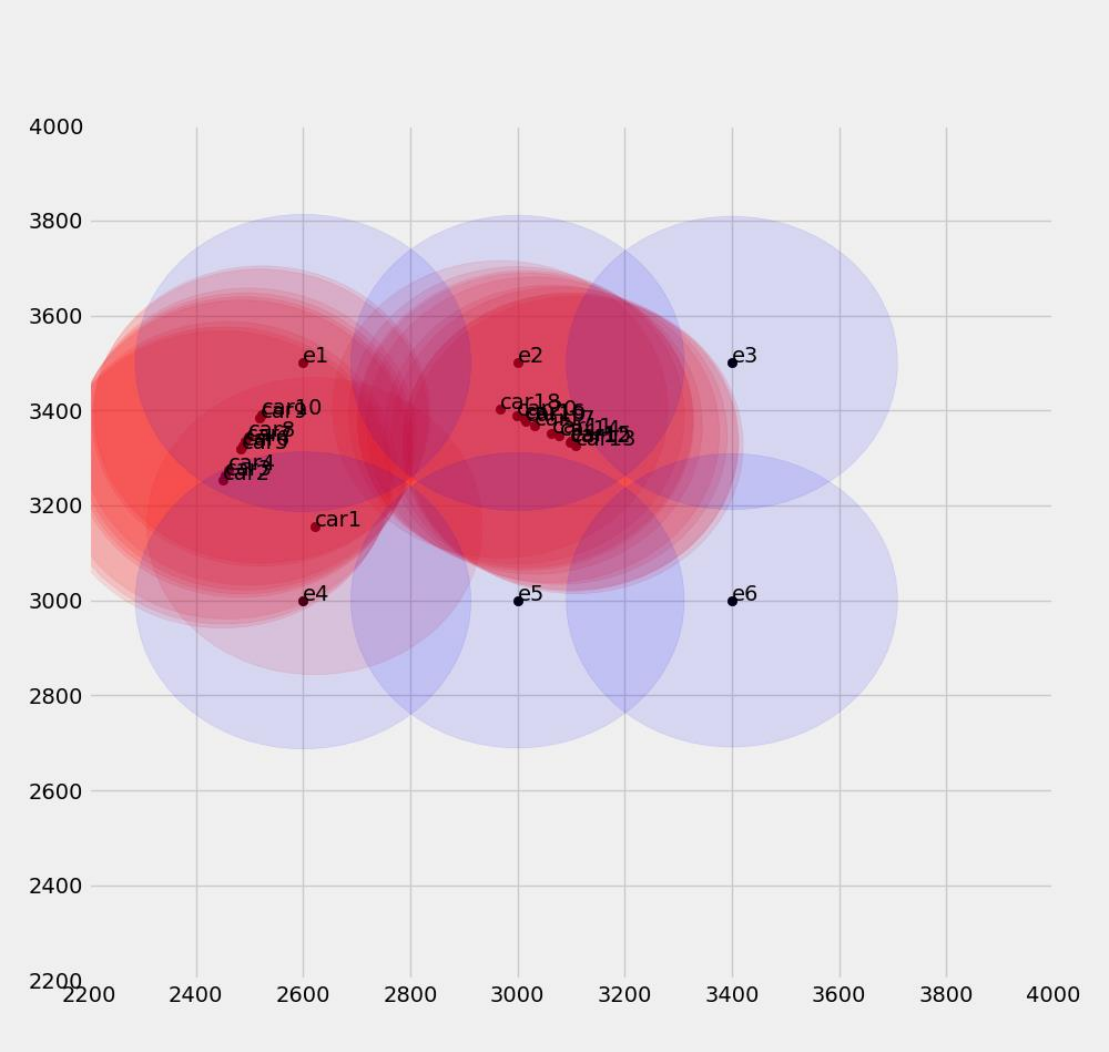
يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) بمتوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدر (bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل Mbit/sec10 والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر العميل، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.

From the standpoint of the server				From the standpoint of the client		
Time(s)	Throughput (Mb/s)			Time(s)	Throughput (Mb/s)	
0.5	1.2			0.5	4.36	
1	2.95			1	5.17	
1.5	3.93			1.5	5.34	
2	4.4			2	5.42	
2.5	4.65			2.5	5.51	
3	4.85			3	5.59	
3.5	5.02			3.5	5.65	
4	5.13			4	5.69	
4.5	5.21			4.5	5.67	
5	5.26			5	5.7	
5.5	5.32			5.5	5.73	
6	5.38			6	5.75	
6.5	5.43			6.5	5.76	
7	5.45			7	5.75	
7.5	5.47			7.5	5.77	
8	5.5			8	5.79	
8.5	5.54			8.5	5.69	
9	5.47			9	5.7	
9.5	5.48			9.5	5.96	
10	5.49			10	5.71	
Average	4.8565			Average	5.5855	

جدول (4-3) قيم معدل التدفق في السيناريو الثاني

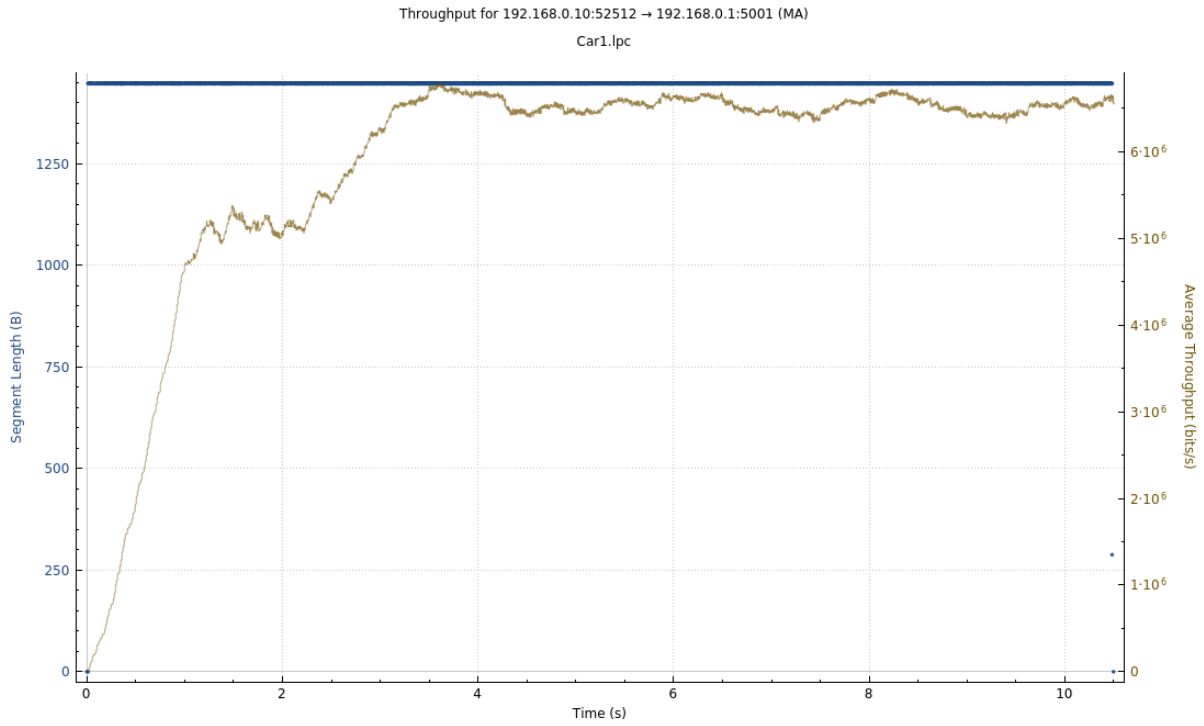
4.4.3 السناريو الثالث: تطبيق شبكات العربات المخصصة مع الشبكات المعرفة برمجياً في حال وجود العقد موزعة ضمن تغطية نقاط وصول (وحدات جانب الطرقات) مختلفة.



الشكل (4-16) توزع السيارات في حال السيناريو الثالث

في هذا السيناريو يجري تطبيق شبكات SDN على شبكات VANET مع وجود متحكم لشبكة SDN، تم استخدام Open Daylight Controller. يدرس معدل دفق البيانات بين المخدم (السيارة 1) والعميل (السيارة 10) مع مراعاة أن تكون كل سيارة ضمن تغطية نقطة وصول مختلفة (سيارة 1 ضمن تغطية e4 والسيارة 10 ضمن تغطية e1). يوضح الشكل جانباً خريطة توزيع وحدات جانب الطرقات (نقاط الوصول أو التغطية) الموزعة ضمن المنطقة المدروسة، حيث جرى لتغطية كاملة المنطقة.

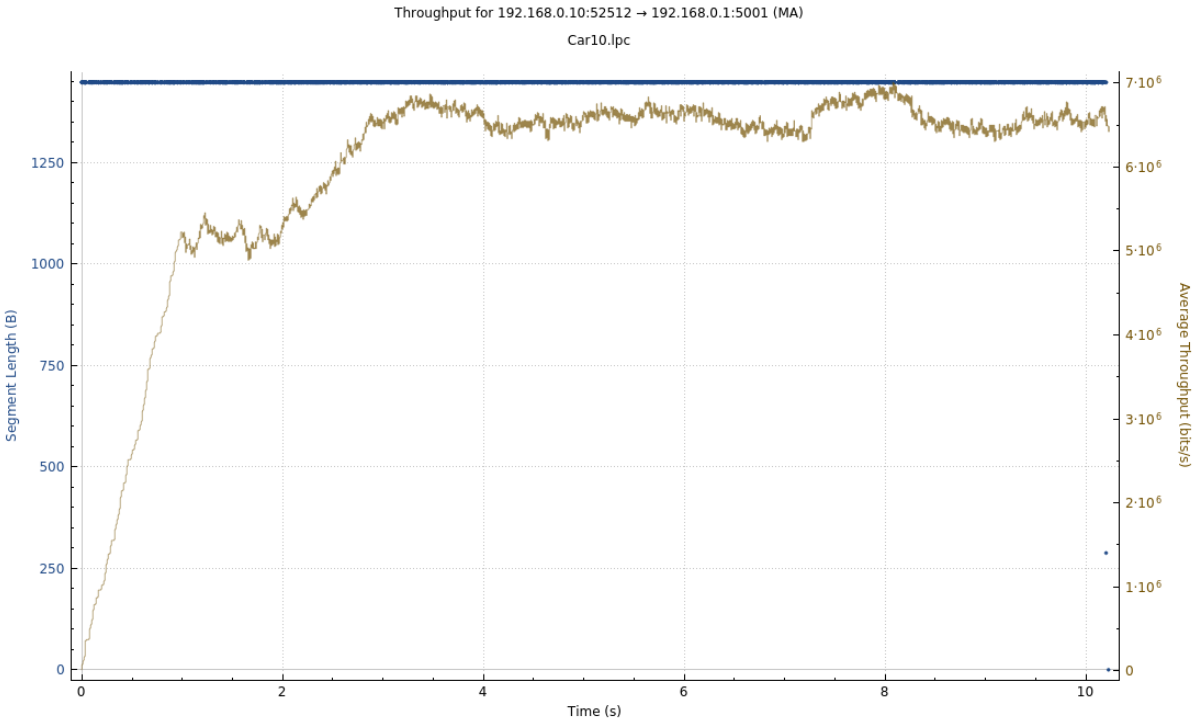
الدوائر الحمراء ترمز الى السيارات المتحركة (العقد المتحركة)، والدوائر الثابتة إلى وحدات جانب الطرقات (العقد الثابتة).



الشكل (4-17) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الثالث

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) متوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدرة(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل 10Mbit/sec والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر المخدم، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.



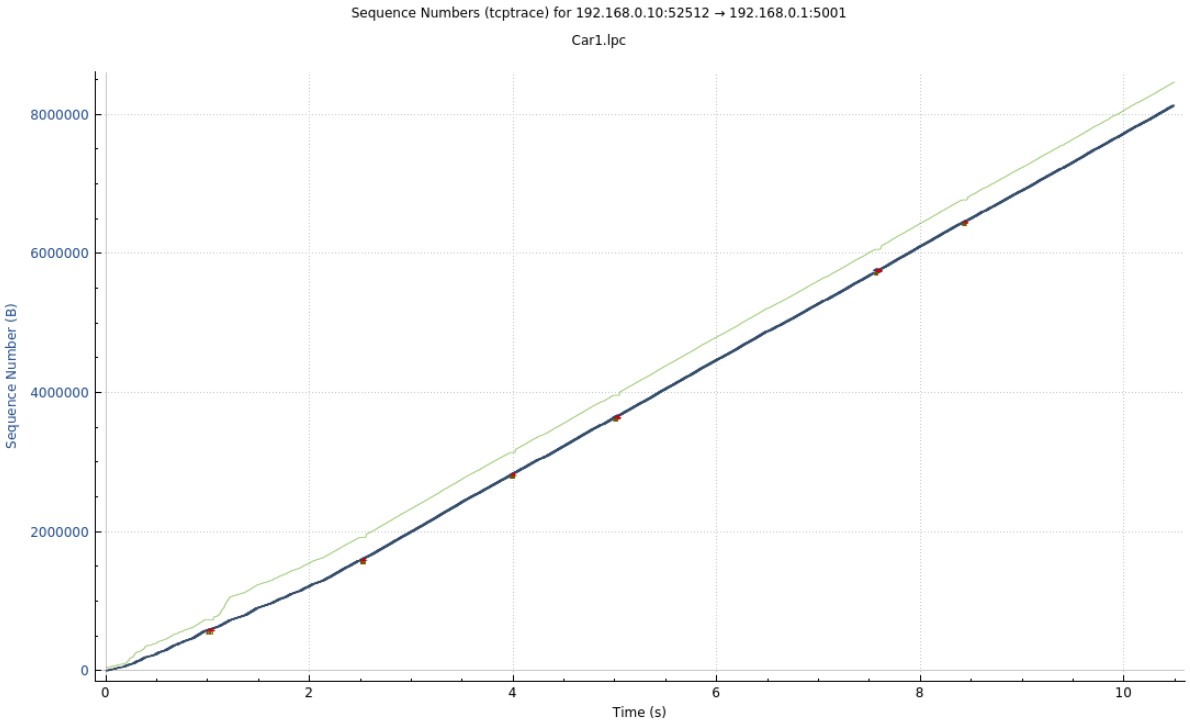
الشكل (4-18) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الثالث

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) بمتوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدرة(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل 10Mbit/sec والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر العميل، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.

From the standpoint of the server			From the standpoint of the client		
Time(s)	Throughput (Mb/s)		Time(s)	Throughput (Mb/s)	
0.5	3.89		0.5	5.04	
1	4.7		1	5.17	
1.5	4.82		1.5	5.13	
2	4.86		2	5.24	
2.5	5.06		2.5	5.46	
3	5.33		3	5.67	
3.5	5.55		3.5	5.83	
4	5.67		4	5.88	
4.5	5.74		4.5	5.97	
5	5.83		5	6.02	
5.5	5.9		5.5	6.07	
6	5.96		6	6.12	
6.5	6		6.5	6.14	
7	6.03		7	6.17	
7.5	6.06		7.5	6.2	
8	6.1		8	6.23	
8.5	6.12		8.5	6.23	
9	6.14		9	6.25	
9.5	6.16		9.5	6.26	
10	6.18		10	6.28	
Average	5.605		Average	5.868	

جدول (4-4) قيم معدل التدفق في السيناريو الثالث



الشكل (4-19) مخطط tcp trace للسيناريو الثالث

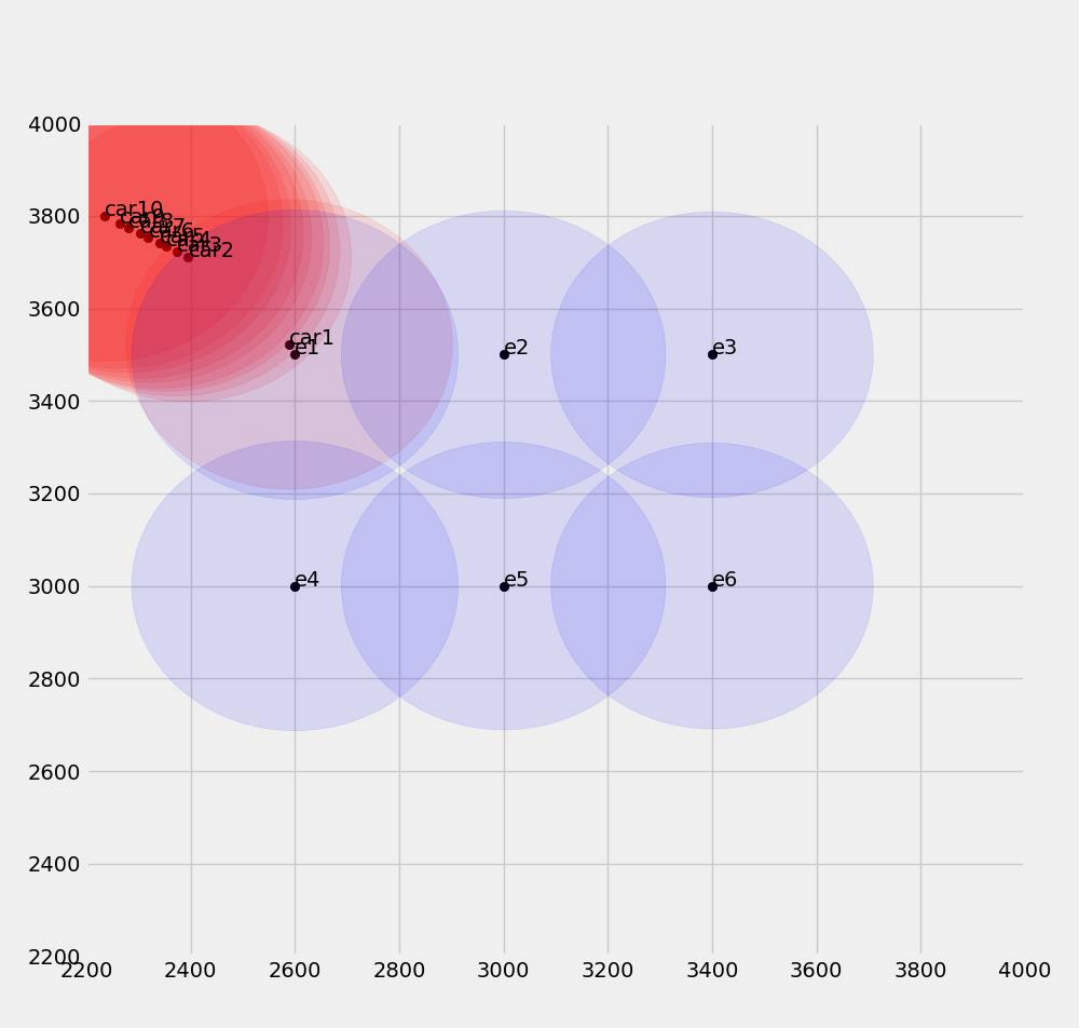
يوضح المخطط المرسوم جانباً العلاقة بين عدد البيانات المرسلة خلال الزمن، حيث المحور (X) يعبر عن الزمن مقدراً بالثانية، والمحور (Y) عن عدد البيانات المرسلة (Sequence Numbers) مقدرة بالبايت.

كلما كان المنحني قريب من خط مستقيم كان أداء الشبكة أفضل (إرسال رزم البيانات بأقل خطأ ممكن).

ميل المنحني يعبر عن bandwidth، كلما كان مقدار الميل أكب كان أداء الشبكة أفضل.

المنحني الأخضر يعبر عن البايتات المرسلة من العميل الى المخدم، أما المنحني الأزرق يعبر عن بايتات ACK المرسلة من المخدم الى العميل، والنقاط الحمراء تعبر عن ضياع (خطأ) في وصول الرزم المرسلة.

4.4.4 السيناريو الرابع: تطبيق شبكات العربات المخصصة مع الشبكات المعرفة برمجياً في حال إحدى السيارات خارج نطاق تغطية شبكة ال**SDN**

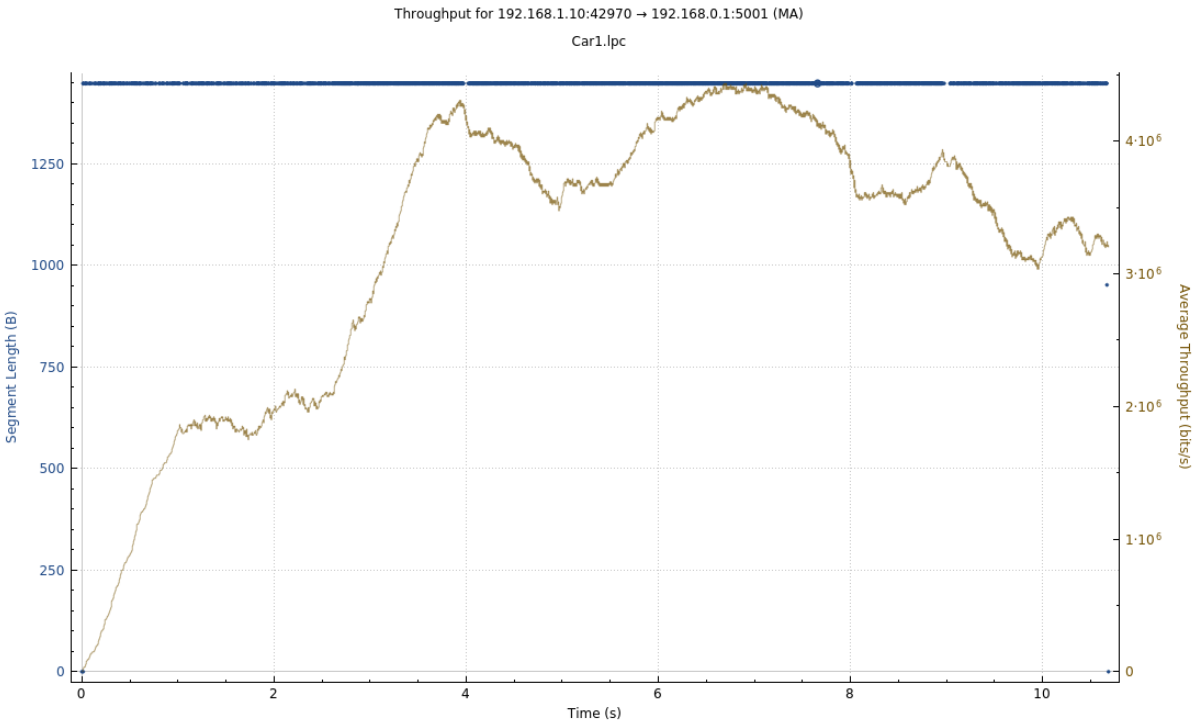


الشكل (4–20) توزع السيارات في حال السيناريو الرابع

يوضح الشكل جانباً حالة السيارة 10 خارج تغطية شبكة SDN وتريد التواصل مع السيارة 1 التي هي ضمن تغطية الشبكة الأخيرة.

يجري التواصل بينهما من خلال سيارة وسيطة تضمن تغطية الشبكتين SDN,VANET.

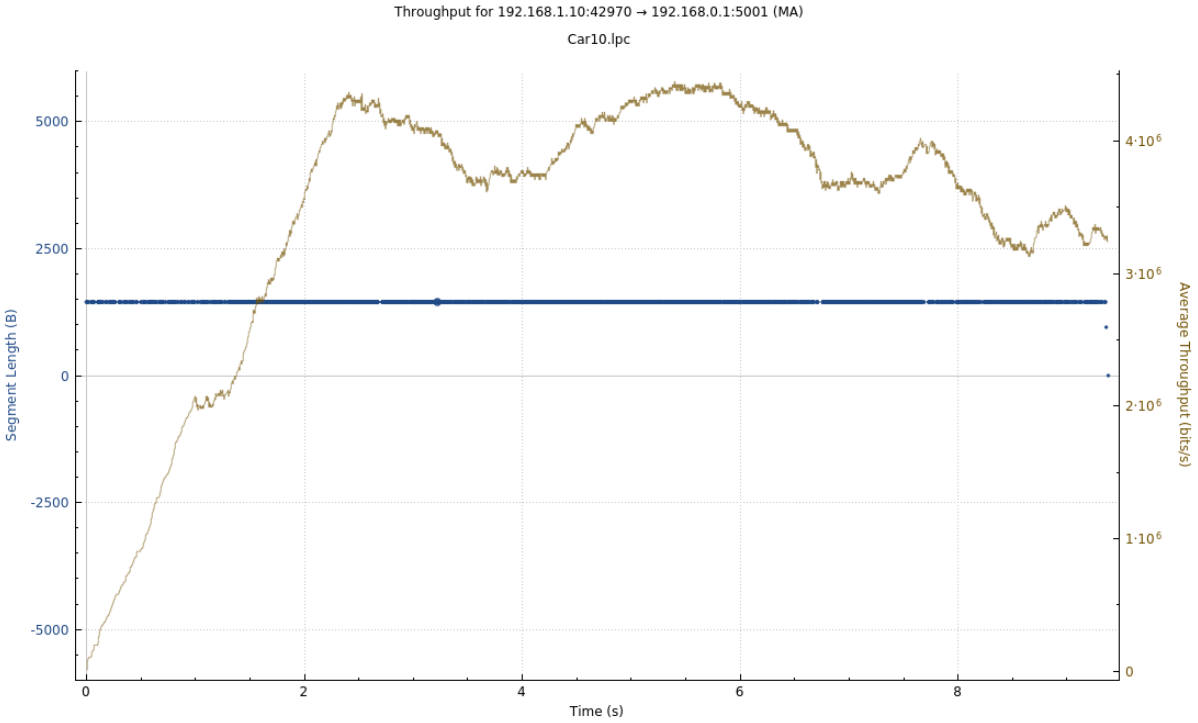
يجري إرسال دفق الرزم على الواجهة WLAN1 لتصل الى العميل (السيارة 10) على الواجهة MP1، ومن ثمَّ يتم أعادة توجيه الرزم بين الشبكتين من خلال السيارة الوسيطة.



الشكل (4-21) معدل التدفق throughput من وجهة نظر السيرفر السيناريو الرابع

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) متوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدر (bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل 10Mbit/sec والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر المخدم، حيث اعتبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.



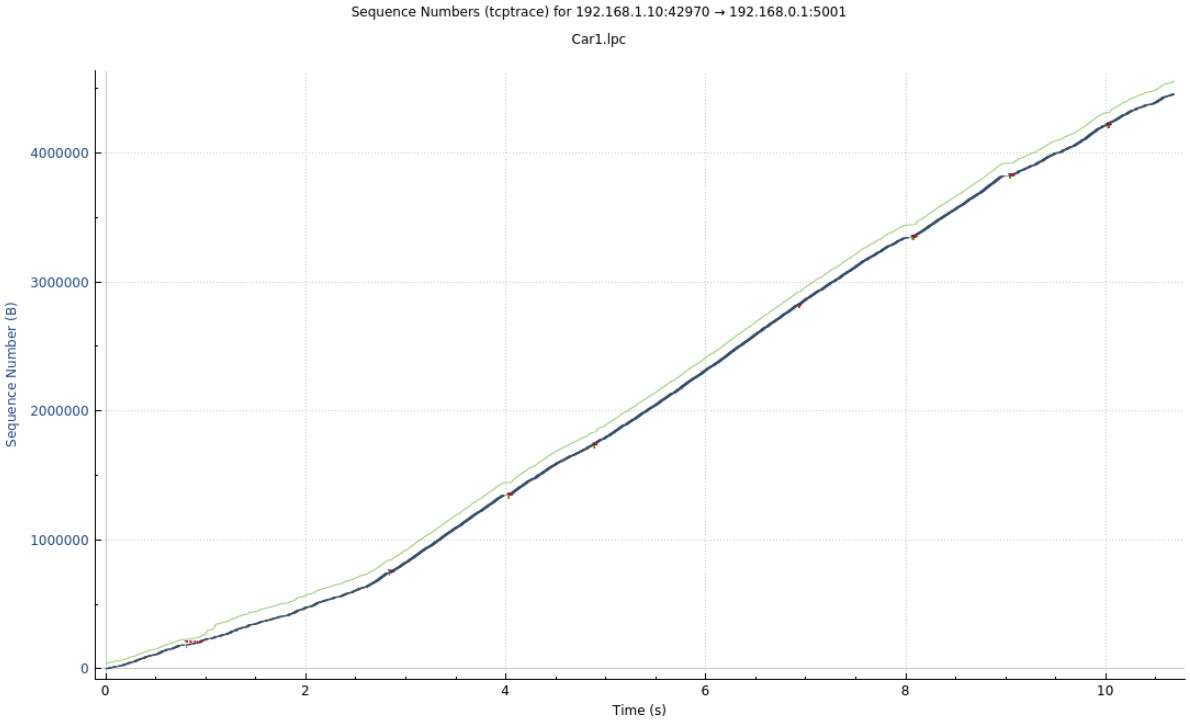
الشكل (4–22) معدل التدفق throughput من وجهة نظر العميل السيناريو الرابع

يوضح الشكل جانباً أداء شبكة الVANET مع شبكة SDN بوجود متحكم مركزيOpen Daylight من حيث معدل دفق الرزم بين عقدين (سيارتين)، حيث محور (x) زمن إرسال رزم البيانات مقدرة بالثانية، ومحور (y) متوسط عدد الرزم المرسلة خلال الزمن (throughput) مقدر(bit/sec) حيث قدرت سرعة النقل Mbit/sec10 والفترة الزمنية للدراسة 10 ثوانٍ.

يبين الشكل معدل دفق المعلومات من وجهة نظر العميل، حيث اعُتِبرت السيارة 1 هي المخدم، إذ ترسل دفق (stream TCP/IP) من سيارة 1 الى السيارة 10 التي هي العميل.

From the standpoint of the server			From the standpoint of the client		
Time(s)	Throughput (Mb/s)		Time(s)	Throughput (Mb/s)	
0.5	1.74		0.5	1.89	
1	1.81		1	2.09	
1.5	1.85		1.5	2.37	
2	1.89		2	2.77	
2.5	1.94		2.5	3.07	
3	2.2		3	3.18	
3.5	2.49		3.5	3.23	
4	2.7		4	3.31	
4.5	2.82		4.5	3.41	
5	2.87		5	3.51	
5.5	3		5.5	3.59	
6	3.08		6	3.63	
6.5	3.19		6.5	3.66	
7	3.27		7	3.63	
7.5	3.33		7.5	3.63	
8	3.34		8	3.62	
8.5	3.36		8.5	3.59	
9	3.4		9	3.59	
9.5	3.36		9.5	3.5	
10	3.37		10	3.54	
Average	2.7505		Average	3.2405	

جدول (4-5) قيم معدل التدفق في السيناريو الرابع

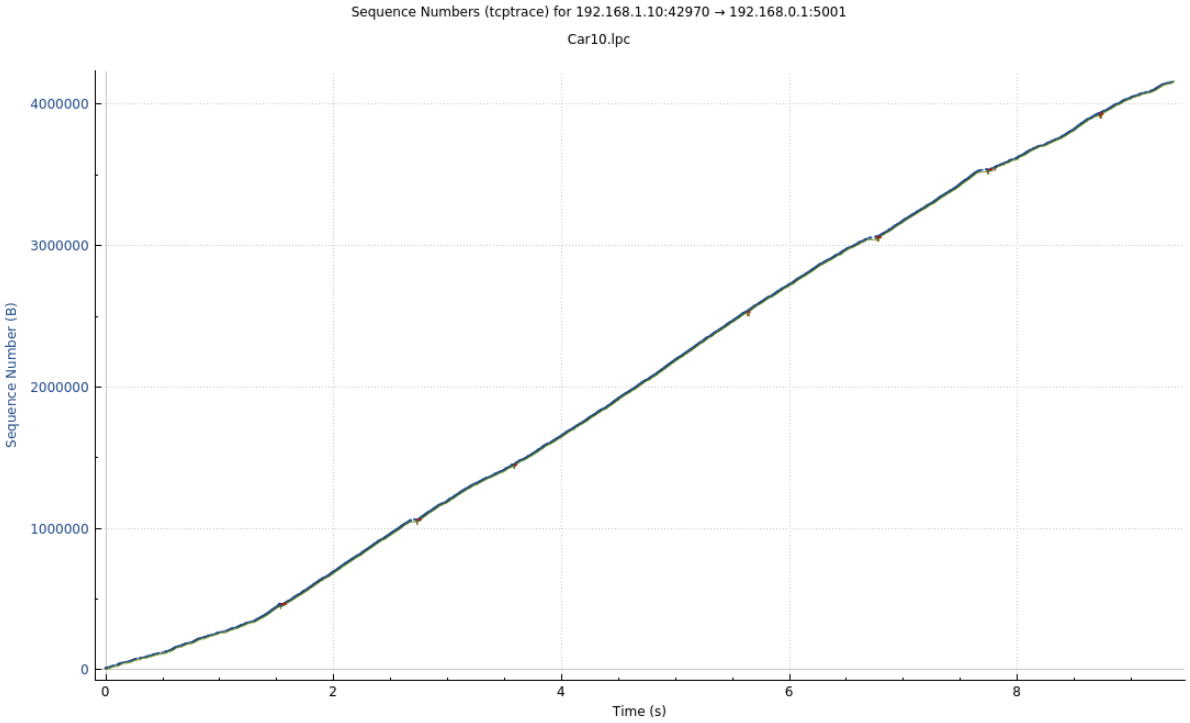


الشكل (4-23) مخطط tcp trace للسيناريو الرابع من وجهة نظر السيرفر

يوضح المخطط المرسوم جانباً العلاقة بين عدد البيانات المرسلة خلال الزمن، حيث المحور (X) يعبر عن الزمن مقدراً بالثانية، والمحور (Y) عن عدد البيانات المرسلة (Sequence Numbers) مقدرة بالبايت.

نلاحظ أن المنحني ليس خطاً مستقيماً بشكل مثالي، بل يحتوي على نقاط انقطاع، هذا يدل على نسبة أعلى من معدل الخطأ بإرسال البايتات مع المقارنة بالسيناريو الثالث، وذلك بسبب إعادة توجيه الرزم.

المنحني الأخضر يعبر عن البايتات المرسلة من العميل الى المخدم، و المنحني الأزرق يعبر عن بايتات ACK المرسلة من المخدم الى العميل، أما النقاط الحمراء فهي تعبر عن ضياع (خطأ) في وصول الرزم المرسلة.



الشكل (4–24) مخطط tcp trace للسيناريو الرابع من وجهة نظر العميل

يوضح المخطط المرسوم جانباً العلاقة بين عدد البيانات المرسلة خلال الزمن، حيث المحور (X) يعبر عن الزمن مقدراً بالثانية والمحور (Y) عن عدد البيانات المرسلة (Sequence Numbers) مقدرة بالبايت.

نلاحظ أن المنحني ليس خطاً مستقيماً بشكل مثالي، بل يحتوي على نقاط انقطاع، وهذا يدل على نسبة أعلى من معدل الخطأ بإرسال البايتات.

4.4.5 تفسير النتائج مناقشتها

من خلال المحاكاة لبيئة شبكات العربات المخصصة (العشوائية) وربطها مع الشبكات المعرفة برمجياً حيث يتم التحكم بآلية التوجيه عن طريق متحكم مركزي، جرى الوصول الى النتائج الآتية:

عند تقييم أداء الشبكة تبين أن نسبة الخطأ في وصول الرزم بين العقد المتحركة (السيارات) تكون أكبر في حال اعتماد شبكات VANET التقليدية كما في حالة السيناريو الأول الشكل (4-12) نتيجة وجود تقطع بالمنحني بالمنتصف أي وجود رزم ضائعة في إرسال والاستقبال بين العقد المتحركة، بالإضافة الى نسبة الخطأ في وصول الرزم في بداية المنحني فهذا يدل نقصان في الميل وبالتالي ضعف في أداء الشبكة واستقراها.

في حين أنَّ عند دمج شبكات VANET مع شبكات SDN كانت نسبة الخطأ أقل وبالنتيجة استقرار الاتصال أفضل كما في حالة السيناريو الثالث الشكل (4-19) حيث إن من تبين أن نسبة الخطأ في وصول البيانات أقل ما يمكن نتيجة عدم وجود تقطع بالمنحني (مثالي الشكل)، وبالإضافة إلى ميل المنحني هو أكبر قيمة في هذا السيناريو وبالنتيجة أفضل أداء استقرار للشبكة.

في حين أنَّ حالة السيناريو الرابع حالة خروج إحدى العربات خارج تغطية شبكة SDN تبين أنَّ المنحني ليس مستقيماً يوجد انحناء أي ميل المنحني أقل من حالة كل من السيناريو الثاني والثالث وبالتالي أداء الشبكة أقل في هذا السيناريو، رغم ذلك يظَّل أفضل من السيناريو الأول في نسبة الخطأ (حالة تطبيق شبكات العربات التقليدية دون الشبكات المعرفة برمجياً) التقطع في المنحني أقل أي نسبة ضياع الرزم أقل من السيناريو الأول وأعلى كل من السيناريو الثاني والثالث.

إمكانية الوصول الى أحد السيارات غير المغطاة بنقاط الوصول اللاسلكية الموجودة ضمن بيئة المحاكاة كما في حالة السيناريو الرابع، عبر طريق سيارة وسيطة ضمن التغطية. ومن ثمَّ فإنَّ شبكة SDN تبين بالتطبيق العملي أنَّ لها القدرة على الوصول الى أي سيارة سواء كانت ضمن أو خارج نطاق التغطية بشكل مرن وسهل لكن يقل أداء الشبكة حينها (معدل تدفق الرزم) Throughput في حين أنَّ متوسط الحسابي للتدفق الرزم تقريباً يساوي 3 ميغا.

Average Throughput= 2.9955

بالنسبة إلى معدل تدفق الرزم Throughput كانت أعلى قيمة في حالة دمج شبكات VANET مع شبكات SDN حالة السيناريو الثالث، ومن ثمَّ فإنَّ أفضل أداء للشبكة في هذا السيناريو أي أعلى معدل لتدفق الرزم.

Average Throughput= 5.7365

إن السيناريو الثالث هو الحالة المثالية يحقق أعلى أداء واستقرار للشبكة (تطبيق شبكات المعرفة برمجياً على شبكات العربات المخصصة دون ازدحام) الشكل (4-16).

لكن عند ازدحام العقد المتحركة ضمن تغطية نقطة وصول اللاسلكية واحدة قل معدل التدفق للرزم تدريجياً كما في حالة السيناريو الثاني الشكل (4-13) نلاحظ انخفاض في معدل وصول الرزم في حالة الازدحام (الذروة).

Average Throughput= 5.221

في كل السيناريوهات السابقة كان أداء الشبكة أفضل (معدل تدفق الرزم أعلى) من حالة سيناريو الأول (تطبيق شبكات العربات المخصصة التقليدية) فإنَّ متوسط الحسابي لمعدل التدفق كان أقل من حالة كل من السيناريو الثاني والثالث.

Average Throughput= 4.327

في حالة الازدحام الشديد تمكن المتحكم الرئيس بشكل أوتوماتيكي (برمجياً) من توصيل الرزم وفق مسار أقل ازدحاماً بين نقاط وصول اللاسلكية كما في حالة السيناريو الثالث.

إمكانية إضافة وحدات جانب الطرق (نقاط وصول لاسلكية) بشكل مرن وسهل نسبياً دون الحاجة إلى إعادة برمجة الشبكة، والمتحكم المركزي يضيف جداول الدفق بشكل أوتوماتيكي من خلال الميزات والخدمات التي تقدمها شبكات المعرفة برمجياً SDN (خدمة المحاكاة الافتراضية للشبكات اللاسلكية).

4.5 الآفاق المستقبلية:

من خلال الدراسة البحثية قمنا بإنشاء testbed، وهي قاعدة يمكن البناء عليها واستخدامها من أجل أبحاث أخرى متعلقة بتطبيقات VANET Based SDN نذكر منها الآتي:

دراسة ومقارنة أداء متحكمات SDN المطبقة على شبكات VANET.

دراسة أداء خوارزميات توجيه مبتكرة ومطبقة على متحكمات SDN وتأثيرها في شبكات VANET.

تحسين خوارزميات التسليم Handover للعقد المتحركة (السيارات) بين نقاط الوصول اللاسلكية.

مقارنة بين مختلف أنواع التوصيل (النجمي، المثلثي) بين وحدات جانب الطرقات (نقاط الوصول اللاسلكية) لزيادة فعالية وأداء الشبكة.

ابتكار خوارزميات فعالية من أجل إعادة توجيه العقد المتحركة (السيارات) في حال وجود حادث مروري أو اختناق في الطرقات.

دراسة تأثير زيادة أو نقصان معدل سرعة العقد المتحركة في أداء الشبكة بشكل عام.

دراسة أمن المعلومات المتبادلة بين عقد الشبكة وإمكانية حمايتها من الاختراق.

الخاتمة:

جرى في هذه الورقة البحثية دراسة معدل التدفق للرزم بين العقد اللاسلكية المتحركة، ونسبة الخطأ في وصول الرزم، من خلال تقديم اقتراح لبنية شبكية تعمل على دمج ميزات وفوائد الشبكات المعرفة برمجياً في شبكات العربات المخصصة، وذلك باقتراح آلية توجيه توفر للبنية التحتية الاستقرار ومعدل نقل أفضل للبيانات من خلال وجود دماغ مُوزّع ضمن البنية التحتية المقترحة لشبكات العربات المخصصة (متحكم SDN) يعمل على تحديد المسارات الأفضل وإرسال جداول التدفق الى البنية التحتية RSUs دون التعاون من قبل العربات كما في الحالة التقليدية لشبكات العربات المخصصة وهذا يوفر فصلاً حقيقياً لعملية التحكم والتوجيه عن نقل البيانات، ويعطي أداء أفضل بين العقد اللاسلكية (العربات).

نلاحظ من النتائج المذكورة سابقاً أن معدل التدفق أعلى وأكثر استقراراً في حالة الدراسة المقترحة، وإرسال الرزم بين العقد اللاسلكية بشكل مستقر بأقل عدد أخطاء مقارنة مع الحالة التقليدية للشبكة.

المراجع:

[1] K. N. Kalokhe, Y. Park, and S. Y. Chang, “Resilient SDN-based communication in vehicular network,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2018, vol. 10874 LNCS, pp. 865–873, doi: 10.1007/978-3-319-94268-1_79.

[2] S. Costanzo, L. Galluccio, G. Morabito, and S. Palazzo, “Software defined wireless networks: Unbridling SDNs,” in *2012 European Workshop on Software Defined Networking*, 2012, pp. 1–6.

[3] A. Detti, C. Pisa, S. Salsano, and N. Blefari-Melazzi, “Wireless mesh software defined networks (wmSDN),” in *2013 IEEE 9th international conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob)*, 2013, pp. 89–95.

[4] I. Ku, Y. Lu, M. Gerla, R. L. Gomes, F. Ongaro, and E. Cerqueira, “Towards software-defined VANET: Architecture and services,” in *2014 13th annual Mediterranean ad hoc networking workshop (MED-HOC-NET)*, 2014, pp. 103–110.

[5] S. Thun and C. Saivichit, “Performance improvement of vehicular ad hoc network environment by cooperation between sdn/openflow controller and ieee 802.11 p,” *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 2–6, pp. 95–99, 2017.

[6] S. Badotra and J. Singh, “Open Daylight as a Controller for Software Defined Networking.,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 5, 2017.

[7] Z. He, B. Fu, A. Cao, and J. Yu, “A Solution for Mobility Management in Software Defined VANET,” in *2018 IEEE 15th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS)*, 2018, pp. 553–558.

[8] D. Kreutz, F. M. V Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, “Software-defined networking: A comprehensive

survey," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, 2014.

[9] H. Song, J. Gong, J. Song, and J. Yu, "Protocol oblivious forwarding (POF)," 2013.

[10] H. Song, "Protocol-oblivious forwarding: Unleash the power of SDN through a future-proof forwarding plane," in *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking*, 2013, pp. 127–132.

[11] B. Pfaff and B. Davie, "The open vswitch database management protocol," *Internet Requests Comments, RFC Ed. RFC*, vol. 7047, 2013.

[12] M. R. Ghori, A. S. Sadiq, and A. Ghani, "VANET routing protocols: review, implementation and analysis," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1049, no. 1, p. 12064.

[13] S. Dhankhar and S. Agrawal, "VANETs: A survey on routing protocols and issues," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 6, pp. 13427–13435, 2014.

[14] C. Bouras, V. Kapoulas, and E. Tsanai, "A GPSR enhancement mechanism for routing in VANETs," in *International Conference on Wired/Wireless Internet Communication*, 2015, pp. 94–107.

[15] I. Khan, "Performance evaluation of Ad hoc routing protocols for Vehicular ad hoc networks," *Mohammad Ali Jinnah Univ.*, 2009.

[16] M. R. Bhalla and A. V. Bhalla, "Generations of mobile wireless technology: A survey," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 5, no. 4, pp. 26–32, 2010.

[17] "sumo." https://sumo.dlr.de/docs/SUMO_at_a_Glance.html.

[18] R. R. Gudwin, *Urban Traffic Simulation with SUMO*. DCA-FEEC-UNICAMP, 2016.

[19] "what is opendaylight." https://www.opendaylight.org/about/platform-overview.

[20] D. M. B. Dr. Christoph König, "Software Defined Networking and the

OpenDaylight Controller." Institut kommunikations-technik, hannover, 2015.

[21] "open daylight." https://www.opendaylight.org/use-cases.

[22] "automated-service-delivery." https://www.opendaylight.org/use-cases/automated-service-delivery.

[23] "cloud-and-nfv." https://www.opendaylight.org/use-cases/cloud-and-nfv.

[24] "network-resource-optimization." https://www.opendaylight.org/use-cases/network-resource-optimization.

[25] "visibility and control -open daylight." https://www.opendaylight.org/use-cases/visibility-and-control.

[26] "wireshark." https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/ChapterIntroduction.html.

[27] "'Maven at.'" https://maven.apache.org/.

[28] "" Apache karaf feature documentation at"." .

[29] GUEANT, "V. iPerf - The TCP, UDP and SCTP network bandwidth measurement tool." .

Syrian Arab Republic

Damascus university

Faculty of Mechanical & Electrical Engineering

Computer & Automation Engineering Department



improving routing protocol in VANET AD-HOC networks by SDN

Preparation

Engineer. Ayat Asaad

Main Supervisor

Doctor Engineer. Mamoun Younis

Assistant Professor, Department of Computer and Automation Engineering