Design an Intelligent Traffic System Based on Wireless Sensor Networks
Case Study: Lattakia City – AL Zeraa Roundabout

Dr. Mothanna Alkubeily*

(Received 30 / 6 / 2019. Accepted 26 / 9 / 2019)

□ ABSTRACT □

In line with the increase in urbanization and population growth, huge growth was observed in congestion. This growth was accompanied by a range of problems such as traffic congestion, accidents and violation of traffic laws, especially traffic lights. Which in turn has shown an impact on the economy in many countries suffering from this problem, and caused the loss of many lives, in addition to the large economic losses. It is expected that by 2035 the number of cars will be 13 times more than in 2005, from 35.8 million to 236.4 million, so this problem will become worse in the future if it is not resolved.

Mobile wireless sensor networks are a new technology that has attracted researchers because of its many advantages and applications in various fields. In this research, we propose a complete intelligent traffic system based on the number of vehicles in a crowded roundabout based on wireless sensor networks. The proposed algorithm showed higher reliability in relation to traffic by prioritizing ambulances, police and fire, as well as reducing accidents resulting from violation of the red signal.

Keywords: Traffic Congestion, Wireless Sensor Networks, Traffic Control, Intelligent Transportation Systems.

* **Associate Professor, Department of Communication and Electronics, Factually of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.** mothanna.alkubeily @gmail.com

تصميم نظام مروري ذكي اعتماداً على شبكات الحساسات اللاسلكية
حالة دراسة: مدينة اللاذقية–دوار الزراعة

د. مثنى القبيلي•

(تاريخ الإيداع 30 / 6 / 2019. قُبِل للنشر في 26/ 9 / 2019)

□ ملخّص □

تواكباً مع ازدياد النمو السكاني والتوسع العمراني، لوحظ نمو هائل في الازدحام، وترافق هذا النمو بمجموعة من المشكلات مثل الازدحام المروري والحوادث وخرق قوانين السير خاصة بجانب إشارات المرور. والذي بدوره أظهر تأثيراً على الاقتصاد في العديد من الدول التي تعاني من هذه المشكلة، كما تسبب في خسارة الكثير من الأرواح، إضافةً للخسائر الاقتصادية الكبيرة. ومن المتوقع أنه في العام 2035 سيصبح عدد السيارات 13 ضعفاً مما كانت عليه في عام 2005، أي من 35.8 مليون إلى 236.4 مليون سيارة، لذا فإن هذه المشكلة ستصبح أشد سوء مستقبلاً في حال لم يتم إيجاد حل لها.

تمثل شبكات الحساسات اللاسلكية المتنقلة تقنية حديثة جذبت الباحثين نظراً لمزاياها وتطبيقاتها المتعددة في مختلف المجالات. لذا اقترحنا في هذا البحث نظام مرور ذكي متكامل يعتمد على عدد السيارات الموجودة ضمن دوار مزدحم وذلك اعتماداً على شبكات الحساسات اللاسلكية. أظهرت الخوارزمية المقترحة موثوقيةً أعلى فيما يتعلق بالحركة المرورية من خلال إعطاء أولوية لسيارات الإسعاف والشرطة والإطفاء إضافةً إلى تقليل الحوادث الناتجة عن انتهاك الإشارة الحمراء.

الكلمات المفتاحية: الازدحام المروري، شبكات الحساسات اللاسلكية، التحكم بحركة المرور، أنظمة النقل الذكية.

• **أستاذ مساعد، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية**
mothanna.alkubeily@gmail.com

مقدّمة:

تشكل شبكات الحساسات اللاسلكية ((Wireless Sensor Networks (WSN)[1] ثورةً علميةً في مجال الاتصالات اللاسلكية والنظم المدمجة، ذلك أنها فتحت المجال أمام ابتكار جيلٍ جديدٍ من التطبيقات في مجالات متنوعة مثل البيئة ورصد الأحوال الجوية، والمراقبة الصحية، وفحص سلامة الأبنية والمنشآت، والأمن مثل اكتشاف المتطفلين وعمليات اقتحام المناطق المحظورة، وحركة المرور وكشف الحرائق وكذلك المراقبة باستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء (Underwater WSN) أو استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية الداعمة للوسائط المتعددة (Wireless Multimedia Sensor Networks) [2-6].

تتعلق هذه التطبيقات أساساً بعمليات المراقبة والتحكم عن بعد لأحداث حسية (أو فيزيائية) مختلفة ومتعددة مثل الحرارة، والضغط، والضوء، والصوت وما إلى غير ذلك من خلال أجهزة لاسلكية صغيرة الحجم، إذ تحتوي هذه الأجهزة على مستشعرات تقوم بالتقاط وجمع المعلومات المتحَسّسة في البيئة المراقَبَة. ومن ثم تقوم بإرسالها لاسلكيا من جهاز إلى آخر بالتعاون فيما بينها إلى محطة مراقبة التي يمكن أن تكون عبارة عن حاسوب يقوم بتجميع المعلومات من أجهزة الحسّاسات اللاسلكية المتناثرة ومعالجتها وتحليلها.

توجد الإشارات المرورية في الوقت الحالي تقريباً في كل مكان، ومعظم هذه الإشارات تقوم بالتغيير بين ألوانها بناء على فترات محددة مسبقاً، ولذلك يمكننا أن نلاحظ في بعض الحالات توقف المركبات على الإشارة الحمراء على الرغم من كون الطريق ذي الإشارة الخضراء فارغاً، مما سيؤدي إلى خسارة الكثير من الوقت. يظهر التقرير المنشور في عام 2005 [7] عن التنقل في الأماكن المدنية أن التكلفة الإجمالية للازدحام في 85 من الولايات والمدن الأمريكية تقدر بـ 65 مليار دولار سنويا والتي تأتي من 5.3 بليون ساعة من التأخير و5.7 بليون غالون من الوقود المستهلك الزائد. لذلك ظهرت فكرة التحكم بحركة المرور من خلال خوارزميات ذكيّة تعتمد على شبكة من الحساسات لقياس كميّة الازدحام والتدفق المروري وتسمى أنظمة النقل الذكية Intelligent Transportation Systems (ITS) التي تسعى إلى تعظيم قدرة شبكات النقل القائمة والتقليل من التأخير المرتبط بها، كما تراعي في عملها كون بعض المركبات لها أولوية على البقيّة مثل سيارات الإسعاف وسيارات الإطفاء، وبذلك توفر الوقت والجهد وتحمي الناس من الحوادث.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من حيث أنه يتناول موضوعاً حديثاً نسبياً، يتعلق بالحفاظ على الأرواح والممتلكات ويخفض زمن الانتظار على الإشارات المرورية قدر الإمكان، إضافةً إلى تسهيل حركة مرور الحالات الطارئة كالإسعاف والدفاع المدني والشرطة ... الخ دون أي توقف على الدوارات المزدحمة.

طرائق البحث ومواده:

- اقتراح خوارزمية لنظام مرور ذكي متكامل يعتمد على عدد السيارات الموجودة ضمن دوار مزدحم وذلك اعتماداً على شبكات الحساسات اللاسلكية.
- تطبيق الخوارزمية المقترحة في هذا البحث باستخدام برنامج OPNET Modeler لمحاكاة شبكة من الحساسات الذكية المتموضعة حول عقدة مرورية محددة، إضافة لـ24 مركبة متحركة في منطقة محددة من مدينة

اللاذقية وفق مسارات محددة ومتمايزة، بحيث تحاكي الواقع قدر الإمكان. ومن ثم تم استخدام لغة C++ لتصميم خوارزمية مرنة يستخدمها المنسق من أجل تنظيم الحركة المرورية على أفضل وجه.

1. **أنظمة المرور الضوئية الذكية Intelligent Traffic Light Systems :**

سنتناول فيما يأتي مجموعة من أنظمة المرور الضوئية الذكية المستخدمة عالمياً.

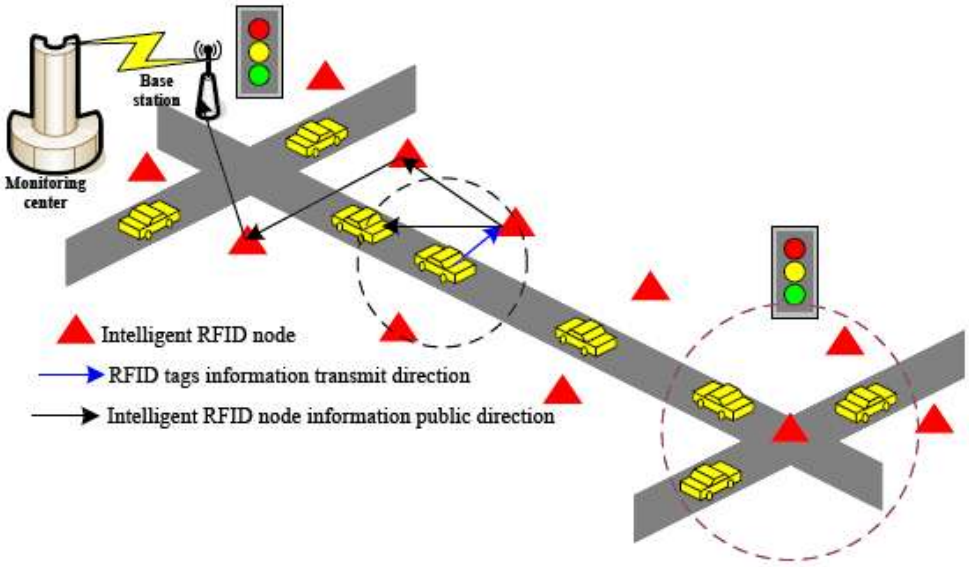
1.1. **طريقة D–WAN:** تعتمد هذه الطريقة على وجود نظام تواصل [8]، حيث يقوم السائق بالتواصل مع مفترق الطرق، ويسأل حول الطريق الذي يجب عليه أن يستخدمه للوصول إلى هدفه، وعندها تقوم نقطة التقاطع بإرشاد سائق المركبة إلى الطريق الأنسب له، ولكن تعنى هذه الطريقة فقط بإعطاء المعلومات حول الوجهة المطلوبة، ولا تأخذ بالحسبان الازدحام.

1.2. **تخفيض زمن الانتظار Reducing Waiting Time:** تهدف هذه التقنيّة إلى توفير الوقت اعتماداً على الحساسات اللاسلكيّة[9]، حيث تقوم فيها إشارات المرور الضوئيّة بتغيير حالتها من أحمر إلى أخضر وبالعكس تلقائّياً تبعاً لحالة الطريق والازدحام فيه، ولكن هذه الطريقة لا تأخذ بالحسبان أولويّة بعض المركبات على الأخرى مثل سيارات الإسعاف.

1.3. **العربة المعتمدة على شبكة حساسات متنقلة لمراقبة الحركة Vehicle Based Mobile Sensor Network for Traffic Monitoring:** وفيها يتم استخدام خوارزميتين واحدة معتمدة على الوصلة والأخرى على العربة [10]. في الخوارزمية الأولى ومن أجل أي وصلة معطاة يتم استخدام حساسين واحد في بداية الوصلة والآخر في نهايتها بهدف إعطاء أفضل حركة مرور على هذه الوصلة. أما الخوارزمية الثانية فتستخدم زوج بيانات (لكل وصلة) لجميع الوصلات التي يمكن أن تمر عبرها بهدف حساب متوسط سرعة حركة المرور. يمكن أن تكون النتيجة المحسوبة دقيقة، لكن هذه الطريقة مكلفة جداً لوجود الحساسات في جميع العربات وعلى جميع الوصلات/الطرق.

1.4. طريقة شبكة مراقبة حركة محدد التحسس اللاسلكي wireless sensing identification traffic monitoring network **WSITMN**: هو برنامج لتنظيم حركة السير يعتمد على RFID[1] و WSN [11]. هنا تكون كل آليّة مزودة بعلامة RFID خاصة بها، وعندما تدخل الآليّة منطقة التحكم يقوم قارئ RFID بقراءة المعلومات الموجودة على العلامة الخاصة بالآليّة، ويقوم بتجميع المعلومات عن تدفق السير من جميع السيارات الموجودة في المنطقة. ليعالج بعدها هذه البيانات ويرسلها إلى المحطة الرئيسيّة التي تبرمج المعطيات الواردة إليها، وترسلها بدورها إلى مركز التحكم الذي يتم فيه تجميع وتحليل جميع البيانات، وعندها يتم اتخاذ القرار وترسل الأوامر إلى إشارات المرور. المشكلة الرئيسيّة في هذا البرنامج هو كونه يعتمد على وحدة معالجة مركزيّة، ففي حال فشل هذه الوحدة سينهار النظام بأكمله (أو مايسمى نقطة واحدة للفشل one point to failure). ومن جانب آخر، إنه من الصعب جداً تزويد جميع الآليات بعلامات RFID.

[1] **Radio Frequency Identification: تقنيّة تستخدم الحقول الكهرومغناطيسيّة للتعرف على العلامات الخاصة بالأجسام، وهذه العلامات تكون فريدة ومرفقة بكل جسم.**



الشكل(1): مثال عن شبكة مراقبة ديناميكية في الزمن الحقيقي [11]

2. الحساسات المستخدمة في اكتشاف الحركة المرورية:

سنتناول في هذه الفقرة الحساسات المستخدمة لاكتشاف الحركة المرورية والتي تقسم إلى نمطين رئيسين: الحساسات المزروعة ضمن الطريق أو الحساسات فوق الطريق.

1.2. الحساسات المزروعة ضمن الطريق In-Roadway sensors:

وهي الحساسات المضمنة ضمن الطريق في الرصيف أو تحت الأرض. يجب تثبيت هذه الحساسات في حارة المرور من أجل تحسس السيارات المارة التي تحتاج إلى إيقاف تدفق حركة المرور حيث يتم تثبيت أجهزة الاستشعار والمحافظة عليها. يمكن أن يتدهور عمل هذه الحساسات بسبب دمار/تلف الرصيف والتركيب غير الصحيح والتأثيرات المرتبطة بالطقس، كما يمكن أن تعيق عملية إصلاح الشوارع والمرافق.

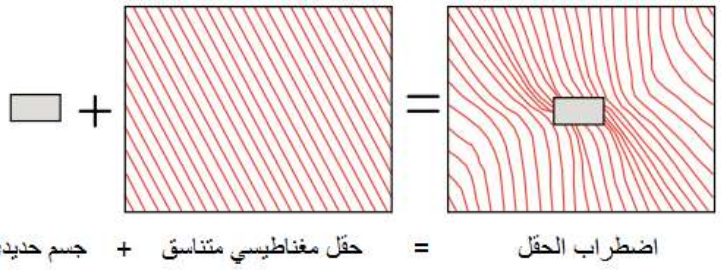
1.1.2- حساسات الحلقة الحثية Inductive loop sensors :

يعد نظام تعقب العربات باستخدام حساس الحلقة الحثية من أكثر الأنظمة الموثوقة [12,13]، ولكنه يصنف من الأنظمة الحساسة أو الشائكة، أي يجب الانتباه إلى أدق وأصغر التفاصيل عند تركيبه، ويتألف من ثلاثة أقسام، وهي الحلقة ومن ثم سلك ممتد من الحلقة إضافة إلى الكاشف. تتوضع هذه الحساسات مباشرة على الطريق وتغطى بغطاء بلاستيكي قاسٍ لحمايتها وبدون أن يؤثر ذلك على الحقل المغناطيسي المنتشر حولها. عندما تتوقف مركبة أو تمر فوق الحلقة، تنخفض تحريضية الحلقة ويحدث تغير في تردد الهزاز متناسب مع هذا الانخفاض، عندما يتجاوز هذا التغير في التردد عتبة محددة مسبقاً، ترسل إشارة إلى المتحكم مشيرة إلى الكشف عن المركبة.

يتميز هذا النوع من الحساسات بدقة كشف عالية، إلا أن عرقلة السير أثناء التركيب أو الصيانة يعد مشكلة حقيقية لمثل هذا النوع من الحساسات. كما أن سلك الحلقة يخضع للإجهاد وذلك بسبب مرور المركبات فوقه وبسبب الحرارة كما يجب أن يكون الكاشف محمي جيداً من عوامل الطقس، كل هذه المساوئ تجعل من نسبة فشل هذا النوع عالية جداً.

2.1.2- حساس الحقول المغناطيسية Magnetic sensor:

عجلت مساوئ النوع السابق من ظهور نوع جديد من الشبكات وهو شبكة الحساسات اللاسلكية المغناطيسية[14,15] التي تقدم مرونة كبيرة وكلفة تركيب وصيانة أقل. يعتمد مبدأ عمل هذه الحساسات على اكتشاف التشوهات في الحقل المغناطيسي الأرضي والتي تسببها الأجسام الحديدية كالمركبات. وبما أن التشوه يعتمد على حجم الأجسام الحديدية وأبعادها واتجاهها، فإن الإشارة المغناطيسية المحرَضة تتعلق بشكل المركبة وتكوينها. لكشف وجود المركبات، نعتمد على المحور العمودي z كأفضل خيار، وذلك لأنه أسهل توضعاً ويمكن إهمال الإشارات من الطرق المجاورة.



الشكل (2): الاضطراب الذي يحدثه الجسم الحديدي في الحقل المغناطيسي المتناسق

تعد شبكة الحساسات المغناطيسيّة اللاسلكيّة غير متأثرة بالعوامل الجويّة كالمطر والثلوج والضباب كما تقدم إغراءات كبيرة من ناحية التكلفة المنخفضة وسهولة التوزيع والصيانة ومن ناحية قدرات القياس المحسنة مقارنة بحساسات الحلقة الحثيّة، وخاصة من أجل قياسات حركة المرور في الطرق السريعة وعند التقاطعات، لكنها تشترك معها في ذات المشكلة حيث يتطلب استخدامها قطع الطريق وإغلاق الرصيف عند التركيب وأيضا عند الصيانة كما أن حساس واحد غير قادر على تغطية خط مروري واحد.

3.1.2- أنبوب الضغط الهوائي Pneumatic road tube:

يقوم حساس أنبوب الضغط الهوائي بإرسال دفعة من ضغط الهواء على طول الأنبوب المطاطي حيث يتوضع الأنبوب تحت الطريق، عندما يمر جسم السيارة أو جسم مركبة معينة فوق الأنبوب يحدث تغيير في ضغط الهواء داخل الأنبوب ثم يقوم نبض الضغط داخل الأنبوب بإغلاق مبدل الهواء مما يؤدي لتوليد إشارة كهربائية يتم نقلها إلى المخدم [16] . يمكن أن يستخدم هذا الحساس الرصاص أو الحمض أو البطاريات القابلة لإعادة الشحن كمصدر للطاقة ليقوم بعمله. من أهم استخدامات هذا الحساس هو تنظيم الحركة المرورية حيث يتم تنصيبه بشكل عامودي على اتجاه حركة السير وعادة يستخدم في عدّ المركبات لمدة قصيرة ويتم تصنيف المركبات عن طريق محور العجلة وتصميمها وتباعدها.

من ميزات هذا الحساس أنه يُعد الأسرع في التركيب من أجل القيام بالتسجيل لمدة مؤقتة أو دائمة، ومستهلك منخفض للطاقة، ويعد عادةً قليل التكلفة وبسيطاً في التركيب والعمل. ومن مساوئ هذا الحساس إنه غير دقيق في عدّ المركبات فعندما تمر من فوقه مركبات ذات أحجام كبيرة كالشاحنة أو الحافلة وأيضا حساسية الهواء المضغوط للحرارة مما قد يسبب عدم وجود الدقة الكافية وخلل في البيانات، الإجهاد والضغط الزائدان عبر الزمن قد يؤديان إلى قطع أو ثقب الأنبوب وبالتالي حاجته للصيانة مرتفعة أكثر.

2.2- الحساسات المزروعة فوق الطريق Over-Roadway sensor:

يتم تركيب هذه الحساسات إما على جنب الطريق أو فوق الرصيف. يمكن أن تتأثر عملية تشغيلها بالظروف الجوية مثل الضباب والثلوج والمطر. و من العيوب الأخرى أن تركيبها وصيانتها، بما في ذلك التنظيف الدوري للعدسات، تتطلب إغلاق حارة الطريق عند تثبيتها فوق الطريق.

1.2.2- رادار الأمواج الميكروية Microwave radar :

يقوم هذا الحساس المركب على جانبي الطريق بنقل الطاقة باتجاه منطقة من الطريق بوساطة هوائي [17]، يتم التحكم في مساحة منطقة الكشف من خلال حجم وتوزيع الطاقة عبر فتحة الهوائي، عندما تمر المركبة عبر حزمة الطاقة المرسلة من قبل الهوائي ينعكس جزء من الطاقة المرسلة باتجاه الهوائي ثم تدخل الطاقة إلى جهاز الاستقبال حيث يتم إجراء الكشف عن بيانات المركبة كالسرعة والنوع والطول.

يستخدم نوعان رئيسيان من هذا الحساس في تطبيقات التحكم بالحركة المرورية وهما:

1- CWDR "Continuous Wave Doppler Radar"
2- FMCW "Frequency Modulated Continuous Wave"

يقوم حساس CWDR بنقل إشارة ثابتة في التردد بالنسبة للزمن، ووفقاً لمبدأ دوبلر تؤدي حركة المركبة في منطقة الكشف إلى حدوث تغيير في تردد الإشارة المنعكسة ولذلك يستخدم هذا النوع للكشف عن المركبات المتحركة وتحديد سرعتها لكنه لا يستطيع الكشف عن المركبات التي لا تتحرك. أما حساس FMCW يقوم بنقل إشارة يتغير باستمرار بالنسبة للزمن لذلك يمكنه الكشف عن المركبات التي لا تتحرك.

كما أنه يقوم بتحديد سرعة المركبة في خط مروري واحد حيث يقوم بتقسيم منطقة الكشف في اتجاه انتقال المركبة إلى مجالات وهذا ما يسمح بتقسيم الإشارة المنعكسة وبذلك تحسب سرعة المركبة من خلال تسجيل فرق الزمن بين المنطقتين المتتاليتين حيث يكون البعد بينهما معروفاً من قبل الحساس. أو يقوم بالكشف عن المركبات في أكثر من ممر واحد بوضعه على جانب الطريق حيث يقوم بالتمييز بين تلك المركبات وإعطاء بيانات التدفق الخاصة بها.

2.2.2- حساسات الأشعة تحت الحمراء Infrared sensors:

تقسم حساسات الأشعة تحت الحمراء إلى نوعين وهي حساسات الأشعة تحت الحمراء الفعّالة Active Infrared sensors وغير الفعّالة Passive infrared sensors.

1- حساسات الأشعة تحت الحمراء الفعّالة Active infrared sensors:

تضيء حساسات الأشعة تحت الحمراء الفعّالة مناطق الكشف بطاقة منخفضة توفرها ديودات الليزر[18]، تنعكس الطاقة من قبل المركبات التي تمر في المنطقة فيتم تركيزها لكي تُكتشف عن طريق نظام بصري حساس للأشعة تحت الحمراء. يحتوي الحساس على مجموعتين من البصريات تقسم إلى مرسلة ومستقبلة، تقوم المرسلة بقسم حزمة الأشعة الصادرة عن الديود إلى حزمتين تفصل بينهما عدة درجات، أمَا بالنسبة للمستقبلة يكون لها مجال بصري أوسع بحيث يمكن أن تستقبل الطاقة المتناثرة من المركبات بشكل أفضل، ومن خلال نقل شعاعين أو أكثر يقوم الحساس بالكشف عن المركبة. كما تقدم هذه الحساسات العديد من البارامترات كالسرعة عن طريق تسجيل الأوقات التي تدخل وتخرج فيها المركبة، عدد المركبات التي في وضع الانتظار، إضافة إلى قدرتها على تصنيف المركبات.

2- حساسات الأشعة تحت الحمراء غير الفعالة Passive infrared sensors:

تقوم حساسات الأشعة تحت الحمراء غير الفعالة بالكشف عن الطاقة المنبعثة من المركبات[19]، وأسطح الطرقات، والأشياء الأخرى في مجال رؤيتها، ومن الجو، لكنها لا تصدر أي طاقة خاصة بها. تحتوي هذه الحساسات تحت الحمراء غير الفعالة غير التصويرية المستخدمة في تطبيقات إدارة المرور عادة ما لا يزيد عن خمسة عناصر كاشفة حساسة للطاقة لكي تجمع الطاقة من مجال الرؤية بأكمله لكنها لا تستطيع أن تقسم الكائنات الموجودة ضمن مجال الرؤية إلى كائنات فرعية إي عناصر بكسل.

بينما تحتوي التصويرية منها على مصفوفة ثنائية الأبعاد من أجهزة الكشف الحساسة للطاقة، ولكل جهاز كشف مجال رؤية لحظي، وتجمع المصفوفة الطاقة من المجال الكامل وبهذا تستطيع هذه الأنواع من عرض الكائنات بتفاصيل دقيقة.

عندما تدخل المركبة مجال رؤية الحساس، يتم استخدام التغيير في الطاقة المنبعثة للكشف عنها، حيث تولد تلك المركبة إشارة تتناسب مع الفرق بين درجة الانبعاثية، كما أن تلك الإشارة تتعلق باختلاف درجة حرارة سطح المركبة مع درجة حرارة الطريق، وعلى الرغم من ضعف الإشارة في حالات الرطوبة العالية والأيام الممطرة، إلا أن ذلك لا يشكل مشكلة للمستشعر لأنه يعمل عند الأطوال الموجية الأطول لطيف الأشعة تحت الحمراء.

قد يتسبب التوهج الناتج من أشعة الشمس في بعض الحالات بإشارات غير مرغوب فيها فتسبب خطأ أثناء عملية الكشف، وفي بعض الحالات الأخرى يمكن للجسيمات الجوية والطقس العاصف أن يشتت أو يمتص طاقة فلا تصل إلى الحساس لكنها تعتبر مشكلة فقط في الحالات النادرة كتبعثر الطاقة بسبب الضباب والثلج الشديدان أو المطر الغزير، إضافة إلى أن التركيب والصيانة كتنظيم العدسة يتطلب إغلاق الطريق.

3.2.2- حساس قياس المسافة Ultrasonic sensor:

هو جهاز لقياس البعد عن هدف باستخدام الأمواج الصوتية[20]، عن طريق إرسال الموجة الصوتية واستقبالها بعد ارتدادها عن الهدف، وتسجيل فرق زمن إرسال الموجة واستقبالها.

يقيس هذا الحساس المسافة بإرسال موجة صوتية بتردد معين وسماعها لدى عودتها إليه، وذلك عن طريق تسجيله الوقت المنقضي بين توليد الموجة وعودتها، مما يمكنه من حساب المسافة بين الحساس والهدف.

نعلم أن سرعة الصوت في الهواء حوالي 344 متر في الثانية، وبهذا يمكننا أن نأخذ الزمن الذي استغرقته الموجة لتعود ونضربه بـ 344 لإيجاد المسافة الكلية التي قطعتها الموجة في طريقها، ولإيجاد المسافة بين الحساس والهدف، يمكن ببساطة تقسيم المسافة الناتجة على 2 [20].

$$distance = \frac{speed\ of\ sound \times time\ taken}{2}$$

يمكن لهذا الحساس أن يتعرف على الأهداف الشفافة؛ وذلك لقدرة الأمواج الصوتية على الانعكاس عن الأوساط الشفافة كالزجاج وسطوح السوائل... وغيرها، كما أن عملية التعرف على الجسم المراد حساب البعد عنه لا تتأثر بتراكم الغبار أو الضباب أو الأوساخ. إضافة إلى ذلك، فإن الحساس يمكنه التعرف على الأجسام معقدة الشكل، كما يعد من الحساسات الرخيصة جداً.

لكنه قد لا يتمكن من التعرف على بعض الأهداف، ربما بسبب تموضعها بطريقة تحرف الأمواج الصوتية عن الحساس، أو بسبب صغر الهدف فلا يتمكن من عكس ما يكفي من الأمواج الصوتية لتعود إلى الحساس ويتعرف عليها، أو قد يكون السبب هو امتصاص الأمواج الصوتية من قبل الهدف، وذلك يعود إلى المادة التي صُنع منها

الهدف (ملابس، سجاد... إلخ)، كما أن دقة الحساس قد تتأثر بدرجة الحرارة ورطوبة الهواء، ولكن بكل الأحوال هذا التغير في الدقة لا يذكر.

4.2.2 الحساسات الاهتزازية (Vibrate Sensors):

هناك نوع آخر من الحساسات المستخدمة في المراقبة المرورية وهو الحساسات الاهتزازية، التي تعتمد في عملها على الاهتزاز الذي تحدثه المركبات عند مرورها بالقرب منها، ثم تحول هذا الاهتزاز إلى إشارة كهربائية تصل إلى وحدة المعالجة الرئيسية. تتوضع هذه الحساسات بالقرب من الطريق وتتميز بأنه يمكن فكها وإعادة تركيبها بسهولة وذلك لإعادة برمجتها عند الحاجة أو لظروف أخرى [21].

مساوئ هذا النوع من الحساسات تتمثل بالدقة المنخفضة وذلك نتيجة تأثير الضجيج العكسي عليها، إضافة إلى المجال الترددي المحدود الذي تعمل ضمنه والذي ينحصر بالترددات المنخفضة والمتوسطة فقط.

5.2.2-الحساس الصوتي Acoustic sensor:

تقوم الحساسات الصوتية بالكشف عن وجود المركبات عن طريق استشعار الطاقة الصوتية الناتجة عن حركة المركبات [22] ومن مجموعة متنوعة من المصادر داخل كل مركبة إضافة إلى الناتجة عن احتكاك إطارات المركبة مع الطريق. طورت هذه الحساسات لتحل بعضاً من المساوئ الموجودة في الحساسات الصوتية العادية وأهمها إمكانية إحداث تزامن في العمل فيما بينها وخاصة في الشبكات التي تتطلب ترابط هذه العقد فيما بينها أثناء عملها، وإمكانية عملها في الزمن الحقيقي، إضافة إلى التكلفة القليلة وسهولة التركيب والوثوقية العالية.

هنالك نوعان رئيسيان من الحساسات الصوتية، كلاهما يعمل على كشف الأصوات المقتربة من مجموعة من الميكروفونات ثنائية الأبعاد. يقوم النوع الأول SmartSonic بالكشف عن طريق قياس التأخير الزمني بين وصول الصوت إلى الميكروفونات العلوية والسفلية والميكروفونات اليمنى واليسرى، وكلما اقتربت المركبة من الحساس يتغير وقت التأخير، وعندما تكون المركبة داخل منطقة الكشف يصل الصوت بشكل فوري تقريباً إلى جميع الميكروفونات وعند مغادرة المركبة منطقة الكشف يعود زمن التأخير إلى التزايد، إن مساحة وشكل منطقة الكشف تختلف من حساس إلى آخر حيث تتعلق بتردد المركز ونطاق تردد المعالجة وهندسة التركيب الخاصة بالمجموعة الصوتية.

يتم ضبط حساسات SmartSonic عادة على تردد مركزي يبلغ $9\ KHz$ مع عرض نطاق يبلغ $2\ KHz$ مع نطاق كشف يبعد من $6\ m$ إلى $11\ m$ ويتم حساب سرعة المركبة عن طريق استخدام منطقتين للكشف مع افتراض متوسط طول للمركبة.

أما النوع الأخر هو SAS-1 فهو يستخدم مصفوفة ميكرفونات مملوءة بالكامل ومعالجتها مكانياً لتغطية مناطق متعددة حيث تستقبل الطاقة الصوتية مما يصل إلى 5 ممرات. يتم تركيب الحساس إلى جانب الطريق وأثناء الإعداد يتم توجيه مناطق الكشف إلى الممرات المطلوبة، ويتم الاستطلاع عن المركبات كل $8\ ms$ ويكون بعد منطقة الكشف من $1.8\ m$ إلى $3.6\ m$ في اتجاه تدفق حركة المرور، تتم معالجة الترددات الصوتية بين $8\ KHz$ إلى $15\ KHz$ بواسطة هذا الحساس.

يستخدم حساس SmartSonic في التطبيقات التي تحتاج إلى جمع البيانات من على الجسور والطرق الوعرة وللطرقات التي لا تكون حركة المركبات فيها بطيئة أو التوقف المستمر بينما يستخدم حساس SAS-1 لمراقبة الطرقات التي تحتوي على طرقات متفرعة أو تكون حركة المركبات فيها متقطعة وفي كلا النوعين يستطيع الحساس أن يقيس سرعة المركبات وكثافتها كما أن النوعين لا يتأثران بالمطر لكن درجات الحرارة الباردة قد تؤثر في دقة بيانات الحساس بالإضافة إلى أن هنالك بعض الأنواع من المركبات غير قابلة للكشف من قبل الحساسات الصوتية وخاصة إن كانت تسير في حركة بطيئة متقطعة.

3. المحاكاة وإظهار النتائج:

3. 1 التصميم المقترح:

مما سبق يمكننا أن نقول أنّ الأوتوماتيكيّة الكليّة ضروريّة لإنشاء نظام مروري يأخذ باعتباره أولويّة بعض المركبات على أخرى ولذلك قمنا بالعمل على تطوير نظام المرور الحالي معتمدين على كلٍّ من لغة C++ وبرنامج Opnet الخاص بإنشاء الشبكات اللاسلكيّة من أجل الحصول على نظام جديد يتصف بكونه:

1- نظام ذكي يعتمد على كميّة السيارات الموجودة على كل من طرفي الإشارة.

2- يقوم بالآتي:

a. تقليل وقت الانتظار بقدر الإمكان.

b. تقليل حوادث السير التي تحدث نتيجة انتهاك الإشارة الحمراء.

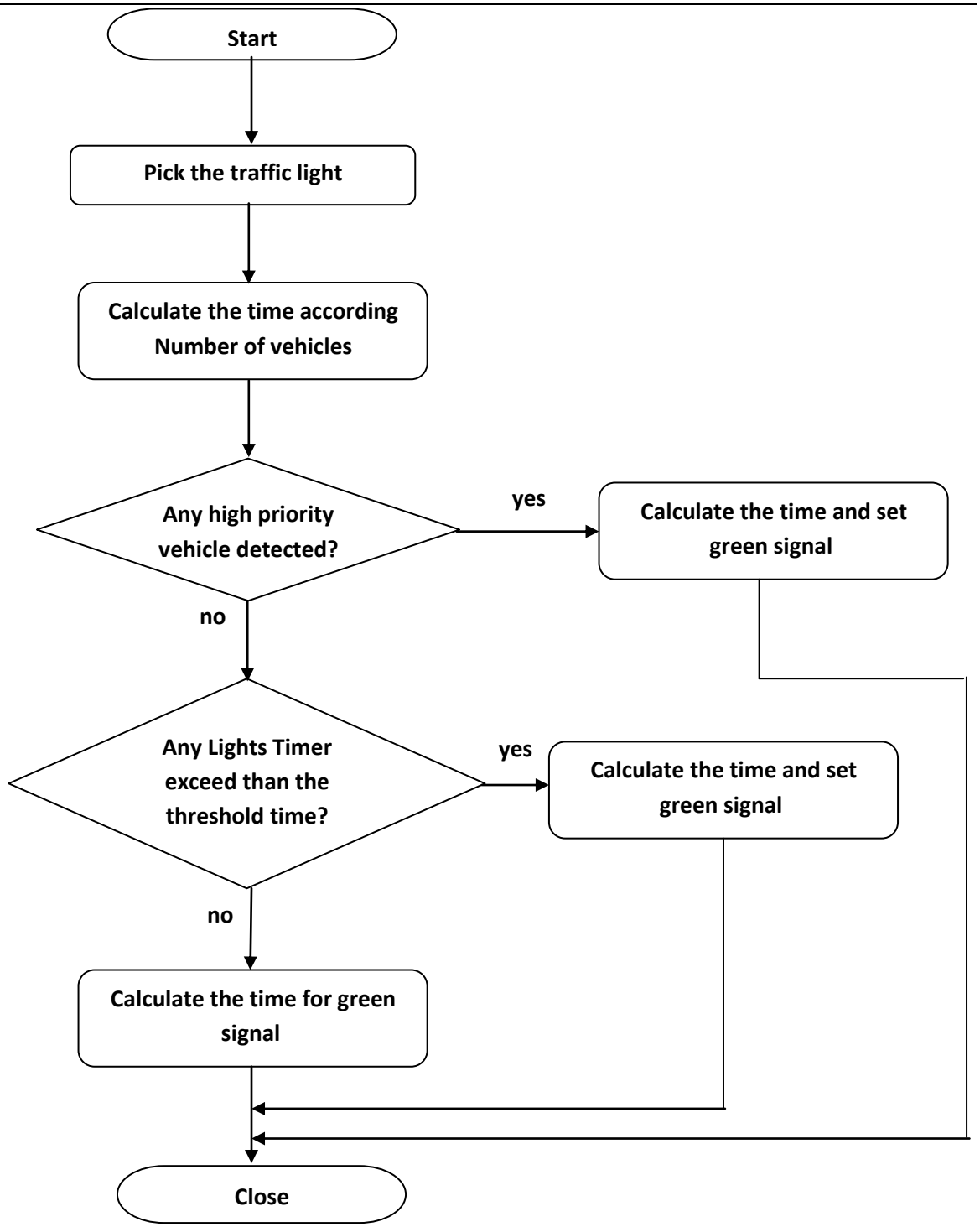
c. يعطي الأولويّة لسيارات الإسعاف، الشرطة، الإطفاء.....

ولقد قمنا بتطبيق هذا النظام على منطقة من مدينة اللاذقيّة "دوار الزراعة" لنرى إن كنا سنحصل على النتائج المطلوبة. يجب أن تكون الطرق التي تنتهي إلى نفس التقاطع في هذا النظام متصلة مع بعضها بهدف تبادل المعلومات حول التدفق المروري والحالات الطارئة، وستتم زراعة الحساسات على الطرق بين التقاطعات من أجل الحصول على المعلومات المطلوبة عن حركة المرور.

في العادة تواجه هذا النوع من الخوارزميات عدّة حالات مربكة للنظام وهي على الشكل الآتي:

- ازدحام التقاطع من أكثر من جهة في الوقت نفسه.
- وجود حالة طارئة.
- بقاء بعض الطرق ذات الازدحام المروري الكبير مفتوحة لفترة أطول مما يجب.
- بقاء بعض الطرق ذات الازدحام المروري الصغير مغلقة لفترة طويلة.

والآن سنعرض خوارزميتنا وسنشرح كل حالة من الحالات السابقة وكيفيّة تفادينا لها:



الشكل (3): المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة

في البداية احتجنا إلى استخدام عدد من الثوابت وهي:

- القيمة الوسطيّة لأطوال السيارات وقد اعتبرناه 4.5 متر.
- القيمة الوسطيّة لسرعة السيارات عند انطلاقها بعد التوقف عند إشارات المرور، وقد اعتبرناه 35 كم في الساعة أي تقريبا 10 متر في الثانية.

- المسافة بين كل سيارتين متوقفتين عند إشارة المرور، تم افتراضه 0.5 متر.
- الحد الأقصى للمدة الزمنية التي يبقى فيها أحد الطرق مفتوحا وتم افتراضه 45 ثانية.
- المدة الزمنيّة التي تحتاجها الحالات الطارئة حتى تصل إلى إشارة المرور 30 ثانية.
- الحد الأقصى لعدد المرات التي يبقى بها الطريق مغلقا وقد اعتبرناه 4.

كما تم استخدام عدد من التوابع في الخوارزميّة:

✓ sensors_input: وهو عبارة عن الدخل الذي ستقوم بقياسه الحساسات، فلقد قمنا بزراعة حساسين في كل شارع على الشكل الآتي:

- حساس يقع بعيداً عن التقاطع سيقوم بحساب عدد السيارات المتجهة إلى التقاطع.
- حساس يقع بجانب إشارة المرور والذي سيقوم بحساب عدد السيارات التي اجتازت التقاطع عند الإشارة الخضراء.

✓ MAX: يقوم بتحديد الطريق الذي توجد فيه أكبر عدد من السيارات.

✓ Distance: وهو لتحديد المسافة بين آخر سيارة قام باستشعارها الحساس وإشارة المرور آخذين بالحسبان المسافات بين السيارات وإمكانية وقوف سيارتين متجاورتين في الطريق.

✓ open_time: وهو يقوم بحساب الوقت الذي ستبقى فيه الإشارة خضراء اعتمادا على البعد الذي قمنا بحسابه سابقا والسرعة المتوسطة للسيارات.

✓ Cars_number: يقوم باستقبال عدد المركبات التي عبرت الإشارة من الحساس القريب منها ويستخدمه لتصحيح العدد الكلي للمركبات في الطريق الذي كانت إشارته خضراء.

ولتفادي المشاكل التي ذكرناها سابقا قمنا بما يأتي:

- لحل مشكلة ازدحام التقاطع من أكثر من جهة في الوقت نفسه قمنا باستخدام تابع MAX لتحديد الطريق الأكثر ازدحاما من أجل فتحه.
- لحل مشكلة وجود الحالات الطارئة في نفس الوقت مع الازدحام قمنا باعتبار الحالات الطارئة ذات أولويّة قصوى ولذلك قمنا بتصميم تابع إسعاف emergency يقوم بإفراغ الطريق الذي توجد فيه الحالة الطارئة مهما كانت كميّة الزحام في بقيّة الطرق، ولتحديد وجود الحالة الطارئة قمنا بزراعة حساس صوتي في كل طريق على بعد 600 متر من إشارة المرور فهو يقوم بالتعرف على الحالات الطارئة من خلال الأمواج الصوتيّة التي تصدرها، ويقوم بإرسال التنبيه إلى وحدة المعالجة المركزيّة وبالتالي لن تصل الحالة الطارئة إلى التقاطع إلا بعد 30 ثانية على الأقل من اكتشاف الحساس لها.
- لحل مشكلة بقاء الطرق ذات الازدحام المروري الشديد مفتوحة لفترة طويلة قمنا بتحديد مدّة زمنيّة قصوى لبقاء الإشارة خضراء، حيث أنه مهما بلغ الازحام في هذا الطريق لن تبقى الإشارة خضراء أكثر من هذه المدة المحددة مسبقا إلا في حال وجود حالة طارئة فعندها سيقوم النظام بإفراغ الطريق الذي يحتوي على الحالة الطارئة حتى لو اضطر لإبقاء الإشارة خضراء لمدة تتجاوز الحد الأقصى بكثير، كما أننا قد صممنا النظام بحيث لا يعطى الضوء الأخضر لنفس الطريق مرتين متتاليتين حتى لو كان أشد الطرق ازدحاما.
- لحل مشكلة بقاء الطرق ذات الازدحام الصغير مغلقة لفترة طويلة قمنا بوضع عدد أقصى من المرات التي يمكن لطريق أن تبقى إشارته حمراء فيها، ففي حال الوصول إلى هذا الحد سيقوم النظام آليا بإعطاء الضوء الأخضر

لهذا الطريق عن طريق استخدام تابعين وهما counter الذي يقوم بعد عدد مرات بقاء إشارة كل طريق حمراء. وتابع exceed الذي يقوم باختيار الطريق الذي مر عليه أكبر عدد من المرات باللون الأحمر من أجل إعطائه اللون الأخضر في حال عدم تواجد حالة طارئة في طريق آخر وبهذا يصبح ترتيب الأولويّة كالآتي في البداية الحالات الطارئة ومن ثم الطرق التي بقيت مغلقة لفترة طويلة وفي النهاية الطرق المزدحمة.

كما يجدر الذكر أنه بعد إعطاء إي طريق الضوء الأخضر مهما كان وضعه من الحالات الثلاث السابقة سيتم بعد ذلك تصفير عداده عن طريق تابع MAX

أما بالنسبة لتمثيل السيارات والحساسات على الخريطة ولإنشاء شبكة حساسات لاسلكيّة قمنا باستخدام برنامج OPNET Modeler 14.5 .

3. 2 نتائج التصميم:

قمنا بوضع 24 عقدة متحركة في مناطق مختلفة من الخريطة باعتبارهم المركبات التي ستمر من العقدة المرورية المراد تنظيمها وبعدها تم تحديد مسار لكل مركبة بحيث ينتهي عند تلك العقدة

الشكل (4): توزع العربات على دوار الزراعة

ثم بدأنا بزرع العقد الثابتة باعتبارها الحساسات كما يلي:

4 عقد حساس الصوت Acoustic sensor من أجل استشعار الحالات الطارئة وتم توضيعها على بعد 600 متر عن العقدة

الشكل (5): توزع حساسات الصوت على الدوار

8عقد باعتبارها حساس الأشعة تحت الحمراء Infrared sensor حيث تم وضع حساسين على كل شارع من شوارع العقدة

الشكل (6): توزع حساسات الأشعة تحت الحمراء على الدوار

وفي النهاية تم وضع العقدة الرئيسية أو المنسق في مركز العقدة ليقوم بجمع البيانات المرسلة من الحساسات ومعالجتها اعتماداً على الخوارزمية السابقة ومن ثم إعطاء اللون الأخضر للإشارة المناسبة.

الشكل (7): توضع عقدة المنسق

وفي النهاية نكون قد حصلنا على الخريطة الآتية التي تحتوي على النظام المتكامل.

الشكل (8): توزع الحساسات الكامل اعتماداً على الخوارزمية المقترحة

الاستنتاجات والتوصيات:

تم اقتراح نظام مروري ذكي متكامل يعتمد على كميّة السيارات الموجودة بين الحساسين في كل شارع ويقوم بالآتي:

1. تقليل وقت الانتظار قدر الإمكان.
2. تقليل حوادث السير التي تحدث نتيجة انتهاك الإشارة الحمراء.
3. يعطي الأولويّة لسيارات الإسعاف، الشرطة، الإطفاء...

وقد تمكنت الخوارزمية المقترحة من حل بعض المشكلات التي تربك النظام مثل:

1. ازدحام التقاطع من أكثر من جهة.
2. ازدحام التقاطع من جهة ووجود حالة طارئة من جهة أخرى.
3. بقاء بعض الطرق ذات الازدحام المروري الصغير مغلقة لفترة طويلة.
4. بقاء بعض الطرق ذات الازدحام المروري الكبير مفتوحة لفترة أطول مما يجب.
5. التأخر في التعرف على الحالات الطارئة.

بمقارنة النظام المروري الذي توصلنا إليه مع النظام المروري الحالي في سورية والمطبق على نفس الدوار نجد كم هو من الضروري تطبيق هذا المشروع لتطوير المواصلات ومراقبة السير والتحكم بشبكة الطرق المرورية وإدارتها وحل العديد من المشاكل التي تؤدي إلى جعل النظام المروري غير فعال. كما يظهر البحث أهمية استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية لأنها تعد واحدة من أهم التطورات في العلم الحديث التي يمكن الاستفادة منها ومن تطبيقاتها في تسهيل الحياة اليومية وحل مشاكلها.

يمكن الاعتماد على هذا التصميم وتطويره لاحقاً باتجاه تنظيم الحركة المرورية في مدينة اللاذقيّة حيث يعد قابلاً للتطوير كتنظيم أكثر من عقدة متتالية وصولاً إلى تغطية المدينة بأكملها بشبكة مرورية تعتمد النظام الذكي.

المراجع

[1] Amnesh Goel, Sukanya Ray, and Nidhi Chandra, "*Intelligent Traffic Light System to Prioritized Emergency Purpose Vehicles based on Wireless Sensor Network*", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 40– No.12, February 2012.

[2] Jamal Khalifeh, " *Improving the performance of wireless medical sensors networks monitoring the patient in the health care wards*". Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol . (73) No. (2), 211-228, 2102.

[3] Boushra Maala, "*Performance Study of APS Algorithm for position Determination in Underwater Wireless Sensor Networks*", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3), 101-117, 2016.

[4] Jamal Khalifa and Bushra Hasan, "*Tracking animal life in the natural reserves by using hybrid wireless sensors networks*", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (04) No. (3), 295-314, 2018.

[5] Boushra Maala and Khadijeh Iskander; "*Performance Evaluation of MQQ- SIG Algorithm in Wireless Multimedia Sensor Networks* ", In Tishreen University Journal of Science and Engineering, Vol.39, No.6, 2017.

[6] Mothanna Alkubeily, Iyad Hatem, Thanaa Jbeily, and Yacine Challal "*Symmetric-Object Oriented Motion Estimation Approach Test over Wireless Multimedia Sensor Networks for Different Motion Modes* ", In Tishreen University Journal of Science and Engineering, Vol.39, No.6, 2017.

[7] M. Arshad, N.M. Saad, N. Kamel and N. Armi," *Routing Strategies in Hierarchical Cluster Based Mobile Wireless Sensor Networks*". In IEEE INECCE, Pahang, Malaysia pp. 65-69,June 2011.

[8] Ben-Jye Chang, Bo-Jhang Huang and Ying-Hsin Liang, "*Wireless Sensor Network-based Adaptive Vehicle Navigation in Multihop-Relay WiMAX Networks*", Proc. 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2008, pp. 56-63.

[9] Amnesh Goel, Sukanya Ray, and Nidhi Chandra "*Minimization of Waiting Time in Traffic Signals on Indian roads based on Wireless Sensor Network*", JOURNAL OF COMPUTING, VOLUME 3, ISSUE 12, DECEMBER 2011, ISSN 2151-9617

[10] Xu Li, Wei Shu, Minglu Li, Hong-Yu Huang, Pei-En Luo, and Min-You Wu, "*Performance Evaluation of Vehicle-Based Mobile Sensor Networks for Traffic Monitoring*". IEEE transactions on vehicular technology, May 2009, vol. 58, no. 4, pp. 1647-1653.

[11] Jianhou Gan, Lingyun Yuan, Zhongqi Sheng and Tianwei Xu, "*Construction and Implementation of an Integrated WSID Traffic Monitoring Network System*", Proc. 21st annual international conference on Chinese control and decision conference, 2009, pp. 4726-4731.

[12] X. Zhang, Y. Wang and N.L. Nihan." *Monitoring a freeway network in real-time using single-loop detectors* ", System design and implementation. 83rd Annual Meeting, Washington, D.C. , January 2004.

[13] S. Oh, S.G. Ritchie and C. Oh." *Real time traffic measurement from single loop inductive signatures*", 81st Annual Meeting ,Washington, D.C. , January 2002.

[14] Sing Yiu Cheung, Sinem Coleri, Baris Dundar, Sumitra Ganesh, Chin- Woo Tan, and Pravin Varaiya. "*Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor* ", Journal of the Transportation. Research Board, no:1917,selected among the pages in 84th Annual Meeting, February 2006.

[15] Malik Tubaishat, Yi Shang and Hongchi Shi, " *Adaptive Traffic Light Control with Wireless Sensor Networks*", IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'07), Las Vegas, Jan 2007, NV.

[16] Luz Elena, Y. Mimbela, A. Lawrence and A. Klein. "*A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems*", The Vehicle Detector Clearinghouse, August 31, 2007,

[17] Klein L. A. and M.R. Kelley, "*Detection Technology for IVHS*", Vol. I: Final Report, FHWARD-95-100, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., Dec. 1996.

[18] Klein, L. A., *"Millimeter-Wave and Infrared Multisensor Design and Signal Processing"*, Artech House, Norwood, MA, 1997.

[19] Klein, L. A., *"Mobile Surveillance and Wireless Communication Systems Field Operational"* Test - Vol. 1: Executive Summary, California PATH Res. Rpt. UCB-ITS-PRR99-6, University of California, Berkeley, Richmond, CA, Mar. 1999.

[20] http://education.rec.ri.cmu.edu/content/electronics/boe/ultrasonic_sensor/1.html

[21] R. Bajwa, R. Rajagopal, P. Valariya and R. Kavaler. "In-pavement wireless sensor network for vehicle classification " p-p:85 to 96 . Chicago,IL. 12-14 April 2011.

[22] Wentworth, J., C. Dougan, D. Green, W. Kaufman, E. Kent, T. O'Keefe, and H. Wang, "*International Scanning Report on Advanced Transportation Technology*", Federal Highway Administration, FHWA-PL-95-027, Washington, D.C., Dec. 1994.