Journal of Engineering Sciences and Information Technology
Volume (3), Issue (3) : 30 Sep 2019
P: 90 - 106

ISSN: 2522-3321

مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات
المجلد (3)، العدد (3) : 30 سبتمبر 2019 م
ص: 90 - 106

Study, Build and Analyze CAN 2.0 Network Model Using MATLAB

RANEEM MAHMOUD MEREI AL-HALABI

IBRAHIM OMAR AL-SHAMI

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath University || Syria

Abstract: This research shows designing a model that simulates the performance of CAN 2.0 Protocol (Controller Area Network Protocol) in a seven-node network and a data bus. This model is designed using MATLAB and SimEvents library in Simulink, library (SimEvents) which provides a simulation environment for intermittent events that enables modeling and simulation of any event-based system. This model included simulation of the transmission algorithm used by CAN Protocol, so that data frames are fully integrated and generated on time for some nodes and depending on a given event (whatever) for each other. Thus, all types of messages sent over the real-world network are included. This study presents the building of software model of the network, and the application of several vales of BitRates on the network, and then taking the statistical results and analysis compared to reference values. After drawing diagrams between the priority level of the sent node and the delay time of the message- depending on the values taken from the results of the study-we note that the delay times are significantly increased when the BitRate decreases on the one hand and the priority score decreases on the other hand, which is similar to the real-world network and reference values of the protocol.

Keywords: bus - CAN Protocol - SimEvents library - node priority - delay time -BitRate.

دراسة وبناء وتحليل نموذج لشبكة اتصال تعمل وفق بروتوكول CAN 2.0 باستخدام الماتلاب

رنيم محمود مرعي الحلبي

إبراهيم عمر الشامي

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || حمص || سوريا

المُلخّص: يعرض هذا البحث تصميم نموذج يحاكي أداء عمل بروتوكول CAN 2.0 (Controller Area Network Protocol بروتوكول منطقة المتحكم)، في شبكة اتصال مكونة من سبع عقد ومسار لنقل البيانات. وصُمّم هذا النموذج باستخدام بيئة الماتلاب ومكتبة SimEvents ضمن السيميولينك، حيث إن هذه المكتبة تؤمن بيئة محاكاة للأحداث المتقطعة زمنياً، تُمكّن من نمذجة ومحاكاة أي نظام معتمد على الأحداث الزمنية. تضمّن هذا النموذج محاكاة لخوارزمية الإرسال المتبعة من قبل بروتوكول CAN، بحيث إن إطارات البيانات قد تم تضمينها بشكل كامل وتوليدها بالاعتماد على الزمن بالنسبة لبعض العقد، وبالاعتماد على حدث معين (مهما كان) لبعضها الآخر. وبالتالي فإن كل أنماط الرسائل التي تُرسل عبر الشبكة الواقعية تم تضمينها. وتقدّم هذه الدراسة بناء النموذج البرمجي للشبكة، وتطبيق عدة معدلات لنقل البيانات على الشبكة، ومن ثم أخذ النتائج الإحصائية وتحليلها بالمقارنة مع قيم مرجعية. وبعد رسم المخططات البيانية التي تربط بين درجة أولوية العقدة المرسلة وزمن التأخير للرسالة -تبعاً للقيم المأخوذة من نتائج الدراسة- نلاحظ ازدياد أزمنة التأخير لوصول الرسائل بشكل كبير عند تناقص معدل البت (معدل نقل البيانات) من جهة، ومع نقصان درجة الأولوية من جهة أخرى، وهو ما يماثل الشبكة الواقعية والقيم المرجعية للبروتوكول.

الكلمات المفتاحية: مسار(ناقل) - بروتوكول CAN - مكتبة SimEvents – أولوية العقدة – زمن التأخير – معدل البت.

مقدمة:

في السنوات الأخيرة ازداد الاهتمام كثيراً في مجال التحكم واتخاذ القرار الذاتي، من خلال تصميم دارات الكترونية تصدر الأوامر والتعليمات المناسبة من تلقاء نفسها دون تدخل الإنسان، وذلك استناداً إلى معطيات معينة (كالإشارات الناتجة عن الحساسات). من الأمثلة على ذلك الروبوتات واستخدام الطيار الآلي في الطائرات، والقيادة الآلية للسيارات. إن مثل هذه التقنيات قدمت للإنسان الراحة والأمان، واتخاذ القرارات المناسبة وتوفير الوقت والجهد. من هنا أتت فكرة البحث المقدم الذي يستند على هذه المبادئ، والمطبق حالياً بكثرة وخصوصاً في مجال السيارات. منذ أوائل الأربعينيات من القرن الماضي وتكنولوجيا صناعة السيارات تتطور بشكل مستمر (Sheher Banu S, 2017)، من خلال دمج عناصر الكترونية أكثر ضمن مكوناتها(Reif, 2015) . ومع تقدم التكنولوجيا أصبحت السيارات أكثر تعقيداً نتيجة لاستبدال الأجزاء الميكانيكية فيها بعناصر الكترونية مما ساعدت على تقديم المزيد من الراحة الإضافية والسلامة. استدعت كثرة العناصر الالكترونية في السيارات إيجاد آلية أو بروتوكول يسمح لها بأن تتفاعل وتتبادل المعلومات فيما بينها بشكل موثوق به وأقل تكلفة وتعقيداً. لهذا تم صياغة بروتوكول يعرف بـ Controller Area Network (CAN) المخصص للعمل ضمن شبكة السيارات والتطبيقات الصناعية. يسمح هذا البروتوكول بربط عدد كبير من حساسات وتجهيزات المركبات معاً، مما يسمح بالتحكم الآلي فيها ومعرفة الأخطاء وإصدار الإنذارات والتنبيهات في حال حدوث طارئ ما. وهو بروتوكول اتصال تسلسلي، يؤمن تناقل للبيانات بين مكونات الشبكة التي تسمى بالعقد بسرعة تصل حتى 1Mbps عند طول مسار لنقل البيانات يصل حتى 40 متر. يتسم هذا البروتوكول بالوثوقية والأداء العالي في الشبكات ذات متطلبات العمل في الزمن الحقيقي، عندما يكون لسرعة وجودة الاتصال أهمية عالية. مما يجعل لدراسة هذا البروتوكول وتطويره أهمية كبيرة نظراً لاستخداماته الواسعة في عالم الأنظمة الذكية (Lukkien, 2007).

1- مشكلة البحث:

بروتوكول CAN يملك تطبيقات عديدة في مجال صناعة المركبات والأجهزة الطبية والمنازل الذكية والآلات الزراعية وغيرها. وعند إجراء أي دراسة على هذا البروتوكول والأنظمة التي تعمل عليه يجب بناء هذه الأنظمة بشكل مادي (من خلال المعدات الصلبة التي تعمل وفق هذا البروتوكول)، الأمر المكلف زمنياً ومادياً، بالإضافة لكون هذا البروتوكول دائم التطوير والمحاولة في تحسينه (منذ الثمانينات وحتى يومنا هذا)، من حيث زيادة معدل نقل البيانات وتخفيض التكلفة والوقت، كما في CAN FD ذو معدل نقل بيانات 5 Mbps وCAN high speed مع معدل نقل بيانات 100 Mbps.

2- الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى نمذجة عمل خوارزمية بروتوكول CAN، حيث إن هذه النمذجة ستتم من خلال بيئة الماتلاب ومكتبة خاصة في Simulink تسمى SimEvents، ويجب أن يعمل النموذج المبني بآلية مشابهة تماماً لعمل خوارزمية بروتوكول CAN، والحصول على نتائج لهذه المحاكاة تتضمن ما تتضمنه خوارزمية البروتوكول الحقيقة من: (كشف التصادم وتجنبه في المحاكاة - التحكيم بالاعتماد على أسبقية الرسالة - الإرسال المتعدد في ذات الوقت - بنية Multi-Master غير المعتمدة على العنونة - فلترة الرسائل لدى المستقبل واختيار الرسالة المرادة - المرونة في إضافة العقد مهما كان عددها) .

3- أهمية البحث:

أ- دراسة فعالية استخدام بروتوكول CAN وكيفية تطويره وتحسين أدائه، والإمكانيات التي يقدمها في ضوء تطور المركبات والصناعات الآلية، وكل الأنظمة التي تستخدم هذا البروتوكول، وتزايد عدد العقد فيها، والحاجة من نقل رسائل بسيطة إلى ملفات كبيرة، والكثير من المتطلبات والتحديات الأخرى.

ب- النمذجة أصبحت مرحلة طبيعية لأي مشروع قبل البدء بتنفيذه على أرض الواقع، من حيث بناء صورة كاملة عن أداء النظام قبل البدء بتطبيقه، وبذلك توفر التكاليف المادية والزمنية لبناء نماذج تجريبية، قد نبني الكثير منها حتى نحصل على النتائج المرجوة، كما أن النمذجة البرمجية أسهل في التعديل والتطوير من النموذج المادي، وخاصة من حيث إضافة المزيد من العقد، حيث إن التحسين لا تظهر قيمته الحقيقية إلا من خلال تزايد عدد العقد المتصلة بالنظام، وبذلك توفر الكلفة المادية لزيادة عدد العقد كما لو في النظام المادي.

ج- هذه المحاكاة البنيوية للعقد تسمح بمراقبة حركة الرسائل حتى ضمن العقدة الواحدة، وهذا ما يميز هذا المحاكي عن غيره من المحاكيات والمحللات مثل:

X-Analyser 3, RAPTOR-CAN, CANEASY4.0, Vehicle Network Toolbox(MATLAB).

4- مواد وطرق البحث:

أدوات البحث: جهاز حاسب وبرنامج ماتلاب إصدار R2016B، يحتوي مكتبة SimEvents التي ستقدم المكونات الأساسية لبناء النموذج الشبكة (حيث تؤمن مكتبة SimEvents بيئة محاكاة للأحداث المتقطعة زمنياً تمكّن من نمذجة ومحاكاة أي نظام معتمد على الأحداث الزمنية (كبروتوكول CAN) تتشارك فيه العناصر المراد محاكاتها (عناصر المحاكاة) بيئة معينة (المخدمات)، ومكتبة SimEvents تملك العديد من التطبيقات في أنظمة التحكم وشبكات الاتصال المتنوعة والملاحة والصناعة والعديد من التطبيقات الأخرى).

5- منهج البحث:

سأقوم في هذا البحث ببناء نموذج برمجي لشبكة اتصال مكونة من سبع عقد (استطعت بناء شبكة بسبع عقد فقط بسبب مواصفات الحاسب الذي أعمل عليه) ومسار نقل الرسائل بين العقد. حيث إن هذه الشبكة يتم بناؤها ضمن بيئة الماتلاب. تعمل هذه الشبكة بنفس آلية عمل خوارزمية بروتوكول CAN 2.0، وتتضمن ما يتضمنه البروتوكول من آلية لنقل البيانات وسلوك لتجنب التصادم وغيره من المواصفات. وبعد بناء الشبكة سيتم تطبيق أربع معدلات لنقل البيانات (معدلات بت) على المسار وهي 125/250/500/1000 وجميعها بواحدة Kbps. مع العلم أنه تم ضبط الإعدادات للعقد بحيث إعطاء الأولوية العليا للعقدة الأولى ثم الثانية وهكذا.. وبعد القيام بعملية النمذجة وتطبيق الحالات الإحصائية وأخذ قيم التأخير في وصول الرسائل عند كل حالة، سيتم رسم المخطط البياني الذي يبين علاقة درجة أولوية العقدة بزمن التأخير للرسالة الصادرة عنها عند كل معدل لنقل البيانات، ومقارنة هذه القيم مع قيم مرجعية والتأكد من صحتها.

6- فرضيات البحث:

بناء بنية برمجية محاكية لشبكة اتصال بروتوكول CAN، وذلك بالاعتماد على المعادلات الناظمة للبروتوكول، تتضمن هذه البنية ما تتضمنه الشبكة الواقعية. بحيث تكون إضافة المزيد من العقد أو حذف بعضها والتطوير في هذه البنية أمراً أبسطاً وأكثر سهولة ويُسراً، لتسهيل عملية تطوير البروتوكول في المستقبل.

- في بداية هذا البحث نتطرق للدراسة التحليلية لأساسيات بروتوكول CAN.

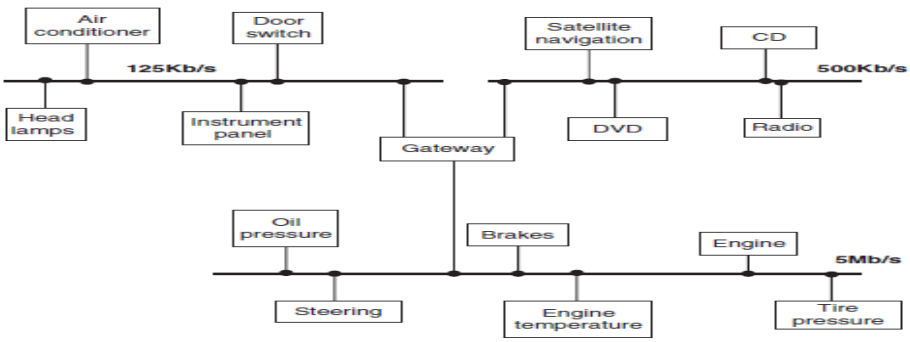
7- الدراسة المرجعية التحليلية لآلية عمل بروتوكول CAN:

أ- بروتوكول Controller Area Network (CAN) هو بروتوكول اتصال تسلسلي تم تطويره من قبل Bosch (مصنع تجهيزات الكترونية في ألمانيا) في أوائل الثمانينات 1983 من القرن العشرين. بعد ذلك تم صياغة البروتوكول ضمن معايير (ISO-11898 و ISO-11519)، و قد أسس بحيث يكون مناسباً للعمل ضمن شبكة المركبات و السيارات، بالإضافة إلى التطبيقات الصناعية الآلية. يوجد في المركبات العديد من الحساسات والتجهيزات والعناصر الالكترونية يتم ربطها معاً وفق بروتوكول CAN، بحيث يمكن لها أن تتواصل وتتبادل المعلومات فيما بينها، وبالتالي إمكانية التحكم الآلي ومعرفة الأخطاء التي تحدث وإصدار الإنذارات والتنبيهات في حال حدوث طارئ ما (Ghosal, 2012).

ب- طُور بروتوكول CAN ليعمل بشكل أساسي في مجال المركبات بمختلف أنواعها، ولكنه على الرغم من ذلك فإنه يستخدم حالياً في العديد من التطبيقات الأخرى، مثل التطبيقات الصناعية والطبية والتحكم الآلي في المنازل وآلات الإنتاج. إن الانتشار الواسع لبروتوكول CAN يعود إلى أنه يقدم طريقة اتصال فعالة ما بين الحساسات والمحركات والمتحكمات والعناصر والعقد الالكترونية الأخرى الموجودة في الشبكة خلال الزمن الحقيقي، وبنفس الوقت فإنه يتسم بالبساطة والوثوقية والأداء العالي (Ghosal, 2012).

ج- يعتمد بروتوكول CAN على طبولوجية المسار BUS، المكون من خطين (سلكين) فقط لإجراء الاتصال. تأخذ شبكة CAN بنية multimaster والتي يمكن من خلالها لأي عقدة على المسار أن ترسل وتستقبل المعطيات، ولكن جهاز واحد فقط يمكن له أن يرسل المعطيات عند زمن معين، وتكون بقية الأجهزة في حالة استماع. إذا حاولت عقدتان أو أكثر أن ترسلا المعطيات بنفس الوقت، فإن العقدة ذات الأولوية أو الأسبقية الأعلى هي التي سيسمح لها بأن ترسل المعطيات، في حين تعود بقية العقد إلى نمط الاستقبال (Lawrenz, 1993).

د- يوضح الشكل (1) مثال على كيفية تطبيق بروتوكول CAN في المركبات. في العادة يوجد أكثر من مسار CAN والتي تعمل ضمن سرعات نقل مختلفة. العقد (الأجهزة) ذات السرعة المنخفضة (مثل التحكم بالنوافذ والتحكم بالطقس ووحدات معلومات القيادة) يمكن وصلها إلى المسار ذي السرعة المنخفضة. الأجهزة التي تتطلب استجابة أسرع مثل نظام منع قفل الكوابح ABS (Antilock Braking System) ووحدة التحكم بالإرسال ووحدة الوقود الالكترونية يتم وصلها مع مسار CAN السريع (CAN FD).

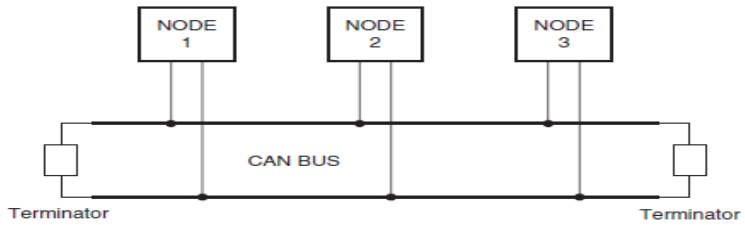


الشكل (1) تطبيق بروتوكول CAN نموذجياً في المركبات

هـ- تقدر كمية وحدات CAN المباعة في السنة الواحدة بحوالي 400 مليون وحدة، نتيجة لكثرة تطبيقاتها العملية، وعادة ما يتم دمجها ضمن شرائح المتحكمات الصغرية مثل متحكمات شركة microchip (PIC) وتتواجد بأسعار منخفضة (Lukkien, 2007).

و- مسار (ناقل) بروتوكول CAN:

يوضح الشكل (2) مسار CAN مع ثلاث عقد موصولة إليه. يعتمد بروتوكول CAN في طريقة وصول العقد إلى المسار على بروتوكول (الوصول المتعدد بتحسس الحامل / كشف التصادم مع التحكيم المبني على أسبقية الرسالة) (Carrier-Sense Multiple Access/Collision Detection with Arbitration on Message Priority)، وهو مشابه للبروتوكول المستخدم في شبكة الإيثرنت Ethernet LAN. في شبكة الإيثرنت عندما يُكتشف التصادم فإن العقد تتوقف عندئذ عن الإرسال وتنتظر لفترة زمنية عشوائية قبل أن تحاول من جديد الإرسال. في حين يعمل بروتوكول CAN على حل مشكلة التصادم من خلال استخدامه لمبدأ التحكيم Arbitration، حيث يكون للعقدة ذات الأسبقية العليا فقط الإمكانية بإرسال معطياتها (GmbH, 1991).



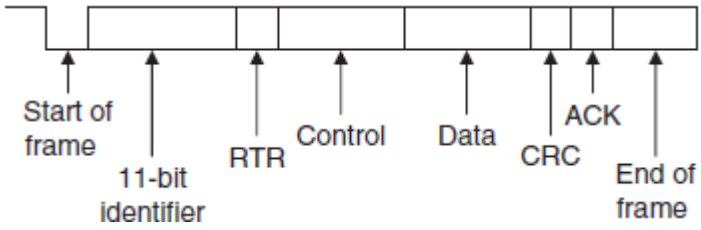
الشكل (2)مثال على مسار بروتوكول CAN

ز- مزايا وخواص بروتوكول CAN:

يمكن تلخيص مزايا وخواص بروتوكول CAN بما يأتي (Ghosal, 2012) (Lawrenz, 1993) (Provencher, 2012) (Sheikh, 2011):

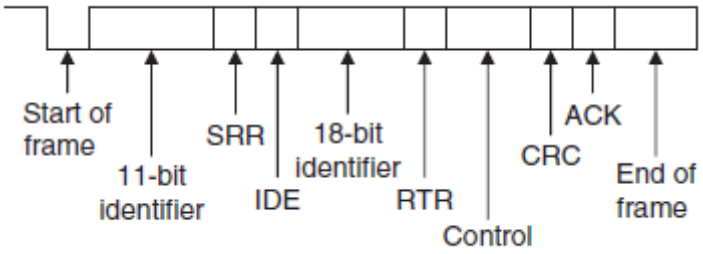
- لبروتوكول CAN بنية multimaster، عندما يكون المسار bus غير مشغول يمكن لأي جهاز مرتبط مع المسار أن يبدأ بعملية الإرسال.
- يمتاز بروتوكول CAN بالمرونة. لا تمتلك الأجهزة المتصلة مع المسار أية عناوين، وهذا يعني أن الرسائل لا ترسل من عقدة لعقدة أخرى اعتماداً على العنونة، وإنما بدلاً من ذلك فإن كل العقد في النظام ستستقبل كل رسالة ترسل على المسار، ومن ثم تقرر فيما إذا كانت الرسالة المستقبلة سيتم الاحتفاظ بها أو إهمالها. يمكن أن تكون الرسالة الواحدة مخصصة لعقدة واحدة أو عدة عقد وذلك اعتماداً على كيفية تصميم النظام. ميزة أخرى لعدم وجود عناوين للأجهزة هي أنه عند إضافة أو حذف جهاز من المسار فإنه لا يوجد حاجة إلى إجراء تغييرات في شكل وهيئة المعطيات (أي أن المسار "hot pluggable").
- يقدم بروتوكول CAN إمكانية الإرسال البعيد (Remote Transmit Request (RTR))، والتي تعني أنه يمكن لأي عقدة على المسار أن تطلب المعلومة من عقدة أخرى. لهذا فإنه بدلاً من انتظار العقدة لكي ترسل المعلومة بشكل مستمر فإنه يتم طلب المعلومة من تلك العقدة. على سبيل المثال في السيارات تعتبر درجة حرارة المحرك إحدى البارامترات الهامة، يمكن تصميم النظام بحيث يتم إرسال درجة الحرارة بشكل دوري على المسار، ولكن يوجد حل أفضل من ذلك وهو أن يتم طلب درجة الحرارة عند الحاجة إليها، لأن ذلك سيقلل من حركة المعطيات على المسار وفي نفس الوقت يتم المحافظة على سلامة الشبكة.
- سرعة اتصال مسار CAN ليس ثابتاً، أي أن سرعة الاتصال يمكن ضبطها للجهاز المتصل مع مسار CAN.

- يمكن وصل عدة أجهزة إلى المسار بنفس الوقت، ولا يوجد حدود منطقية لعدد الأجهزة الممكن وصلها. (عملياً يكون عدد الأجهزة الممكن وصلها محدوداً بزمن تأخير المسار والحمولة الالكترونية وبنسخة البروتوكول المستخدمة كنسخة CAN 2.0A التي تقدم 11 بت لتحديد هوية العقدة وبالتالي يمكن وصل 2^{11} عقدة إلى المسار أو نسخة CAN 2.0B التي تقدم 29 بت لتحديد هوية العقدة وبالتالي يمكن وصل 2^{29} عقدة إلى المسار).
- يستخدم نمط ترميز عدم العودة إلى الصفر NRZ مع بتات الحشو Stuffing Bits، حيث إن فكرة بتات الحشو تتضمن إضافة بت معاكس بالإشارة بعد كل 5 بتات متماثلة بالإشارة. وعلى الرغم من زيادتها لحجم الرسالة إلا أنها ضرورية لتحقيق التزامن أثناء الإرسال. وهناك عدة دراسات من أجل تخفيضها كما في (Cena, 2013).
- طول الرسالة 44-133 bit وتحتوي معطيات 0-8 Byte.
- أعلى معدل لنقل البيانات يصل حتى 1Mbps عند أقصى طول للكبل 40M.
- طول خط النقل يعتمد على معدل النقل ويصل حتى 5KM عند معدل نقل 10Kbps.
- تخفيض وزن الآليات المستخدمة لبروتوكول CAN، ففي سيارة BWM 850 coupe تم إنقاص طول الأسلاك المستخدمة فيها 2KM، وبالتالي نقص إجمالي وزن السيارة حوالي 50Kg.
- يمثل الشكل (3) إطار نقل المعطيات القياسي في بروتوكول CAN 2.0A الذي يملك 11 بت من أجل تعريف هوية العقدة.



الشكل (3) إطار المعطيات القياسي

في إطار المعطيات الموسع CAN 2.0B يكون طول حقل التحكيم 32 بت مقسمة على الشكل: 29 بت من أجل تعريف الهوية، بت واحد (IDE) لتعريف الرسالة على إنها إطار معطيات موسع، بت واحد (SRR) وهو غير مستخدم، وبت واحد RTR. يوضح الشكل (4) إطار المعطيات الموسع.



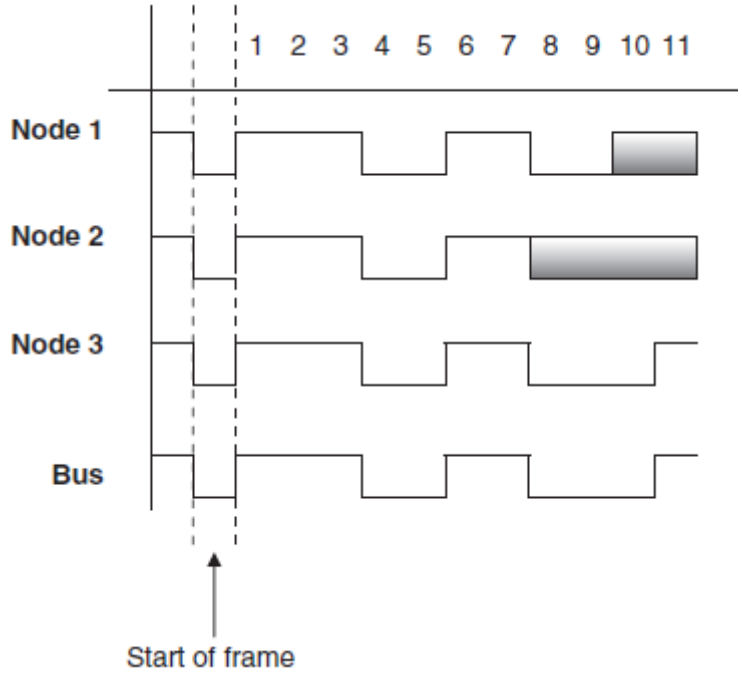
الشكل (4) إطار المعطيات الموسع

ح- **بداية الإطار(Start of Frame (SOF:** يشير حقل بداية الإطار إلى بداية إطار المعطيات وهو مشترك في كلا الشكلين القياسي والموسع.

ط- **حقل التحكيم Arbitration Field**: يستخدم حقل التحكيم ليحل مشكلة التصادم والتعارض في المسار، والتي تحدث عندما تبدأ عدة أجهزة إرسال الرسائل على المسار في نفس الوقت. يشير حقل التحكيم إلى أولوية أو أسبقية الإطار، وهو يختلف ما بين الشكلين القياسي والموسع.

خلال طور التحكيم يرسل كل جهاز مرسل التعريف الخاص به Identifier ويقارن ذلك مع المستوى على المسار. إذا كانت المستويات متساوية فإن الجهاز يتابع الإرسال، إذا كشف الجهاز المستوى المسيطر على المسار أثناء محاولته إرسال المستوى المنحسر فإنه يتخلى عن عملية الإرسال ويصبح جهازاً مستقبلاً. بعد عملية التحكيم يبقى مرسل واحد فقط على المسار، وهذا المرسل يتابع إرسال الحقول المتبقية (التحكم والمعطيات وغير ذلك). يمكن شرح عملية التحكيم (JEGANATHAN, 2007) من خلال الشكل (5) الذي يتكون من ثلاث عقد لها تعريفات الهوية الآتية:

Node 1: 11100110011 Node 2: 11100111111 Node 3: 11100110001



الشكل (5) مثال على كيفية إجراء عملية التحكيم على مسار CAN

بفرض أن المستوى المنحسر يوافق البت "1"، والمستوى المسيطر يوافق البت "0"، يتم إنجاز عملية التحكيم على الشكل الآتي:

- تبدأ كل العقد بعملية الإرسال بنفس الوقت من خلال إرسال بت البداية SOF.
- بعد ذلك ترسل العقد بتات تعريف الهوية. البت الثامن للعقدة الثانية في الحالة المنحسرة "1" بينما يكون البت الموافق للعقدتين الأولى والثالثة في الحالة المسيطرة "0". لهذا فإن العقدة الثانية ستوقف عملية الإرسال وتعود إلى نمط الاستقبال. يشار لنمط الاستقبال بالحقل الرمادي.
- البت العاشر للعقدة الأولى المنحسرة، بينما نفس البت للعقدة الثالثة في الحالة المسيطرة. لهذا فإن العقدة الأولى ستوقف الإرسال وستعود إلى نمط الاستقبال.
- أصبح الآن المسار عقدة واحدة مرسلة هي العقدة الثالثة، ويمكن لها أن ترسل حقل التحكم والمعطيات بحرية.

يمكن ملاحظة أن الأجهزة على المسار ليس لها أية عناوين، وعندئذ فإن كل الأجهزة ستلتقط كل المعطيات على المسار، ويجب على كل عقدة أن ترشح (تترك) الرسائل التي لا تريدها.

ي- **حقل التحكم Control Field:** طول حقل التحكم 6 بتات وهي مقسمة إلى بتين محجوزين وأربع بتات ترمز طول حقل المعطيات (يُشار إليها ببتات DLC)، وهي تحدد عدد بايتات المعطيات في الرسالة التي يتم إرسالها. يوضح الجدول (1) كيفية ترميز بتات DLC لطول حقل المعطيات.

الجدول(1) ترميز حقل التحكم

No. of data bytes	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	D	D	D	**D**
1	D	D	D	**R**
2	D	D	R	**D**
3	D	D	R	**R**
4	D	R	D	**D**
5	D	R	D	**R**
6	D	R	R	**D**
7	D	R	R	**R**
8	R	D or R	D or R	**D or R**

D : Dominant level البت المسيطر / R : Recessive level البت المنحسر

ك- **حقل المعطيات Data Field:** يحمل حقل المعطيات المحتوى الفعلي للرسالة. يتغير حجم المعطيات من 0 إلى 8 بايت، وترسل المعطيات مع الخانة الأكثر أهمية MSB أولاً.

ل- **حقل CRC:** يتألف حقل CRC من 15 بت تمثل سلسلة CRC، وبت يمثل محدد CRC، وتستخدم لفحص الإطار ومنع حدوث خطأ في الإرسال. تضم عملية حساب CRC كل من بداية الإطار، حقل التحكيم، حقل التحكم وحقل المعطيات. يتم مقارنة ناتج حساب CRC وسلسلة CRC المستقبلة، وفي حالة عدم مطابقتهما فإن ذلك يدل على وجود خطأ.

م- **حقل ACK:** يشير حقل ACK بأن الإطار تم استقباله بشكل طبيعي، يتألف هذا الحقل من بتين، البت الأول من أجل حيز ACK، والبت الآخر من أجل محدد ACK.

- بعد أن تمت الدراسة التحليلية للبروتوكول سنتعرف على مكتبة SimEvents الموجودة ضمن MATLAB Simulink وأدوات هذه المكتبة التي سنبني ضمنها النموذج البرمجي للشبكة.

8- أدوات مكتبة SimEvents (E. Harahap, 2016) (The MathWorks, 2005–2015):

1- **عناصر المحاكاة entities:** كما هي معرفة في دليل SimEvents فإن entities تكافئ عناصر فيزيائية تملك سمات محددة أو تحمل معلومات معينة، وتستخضع لخدمة معينة خلال زمن معين. على سبيل المثال تمثل entity القطعة المشغولة في ماكينة CNC، زبائن في مطعم، أو إطار من البيانات في شبكة اتصال ما.

ينتقل عنصر المحاكاة عبر النموذج من خلال طوابير Queues، مخدمات Servers، بوابات gateways وموجهات kswitches وغير ذلك. ويحمل سمات معينة Attributes تميزه عن غيره من العناصر في المحاكاة.

يتم توليد عناصر المحاكاة والتي تمثل الرسائل عبر بلوك entity generator، توليداً معتمداً على الزمن (دوري مثل بيانات الحساسات التي يتم إرسالها بشكل دوري)، أو بالاعتماد على حدث معين فيُطلب إرسال رسالة عشوائية (كانخفاض الوقود مثلاً) أو عدة رسائل (عند اكتشاف خطأ في إطار الرسالة في CAN يُطلب من العقدة المرسلة إعادة

الإرسال – عند حاجة عقدة معينة للمعلومات تقوم بإرسال إطار بعيد للعقدة المالكة للمعلومة تطلب من خلاله إرسال هذه المعلومات إليها).

2- **السمات المحمولة Attributes:** خصائص أو بيانات مرتبطة بعناصر المحاكاة. يتم إسناد سمة إلى عنصر المحاكاة عبر بلوك Set Attributes، ويتم قراءة هذه السمة عبر بلوك Get Attributes.

3- **الطوابير Queues:** إن تشارك عناصر المحاكاة عدد محدد من المخدمات سيؤدي بالضرورة إلى تشكل طوابير لها ثلاث أنواع:

- **FIFO Queues:** أول عنصر يدخل للطابور هو أول عنصر يخرج منه.
- **LIFO Queues:** آخر عنصر يدخل هو أول عنصر يخرج.
- **Priority Queues:** العنصر الذي يحمل أكبر/أصغر قيمة لسمة محددة يخرج من الطابور مهما كان ترتيب دخوله.

في بيئة بروتوكول CAN تمثل طوابير FIFO مسجلات buffers للرسائل المرسلة المنتظرة حتى إتاحة المسار لها، فيما تمثل طوابير priority خوارزمية التحكيم.

4- **المخدمات Servers:** تمثل المخدمات العملية التي تستغرق وقتا منتهياً محدداً لتتم على العناصر. العناصر التي تدخل إلى المخدم تنتظر فيه حتى انتهاء وقت تخديمها.

في بروتوكول CAN المخدم هو المسار، وهو مخدم وحيد تتشاركه جميع العقد والرسائل (لذلك استخدمنا في المحاكاة مخدم واحد فقط).

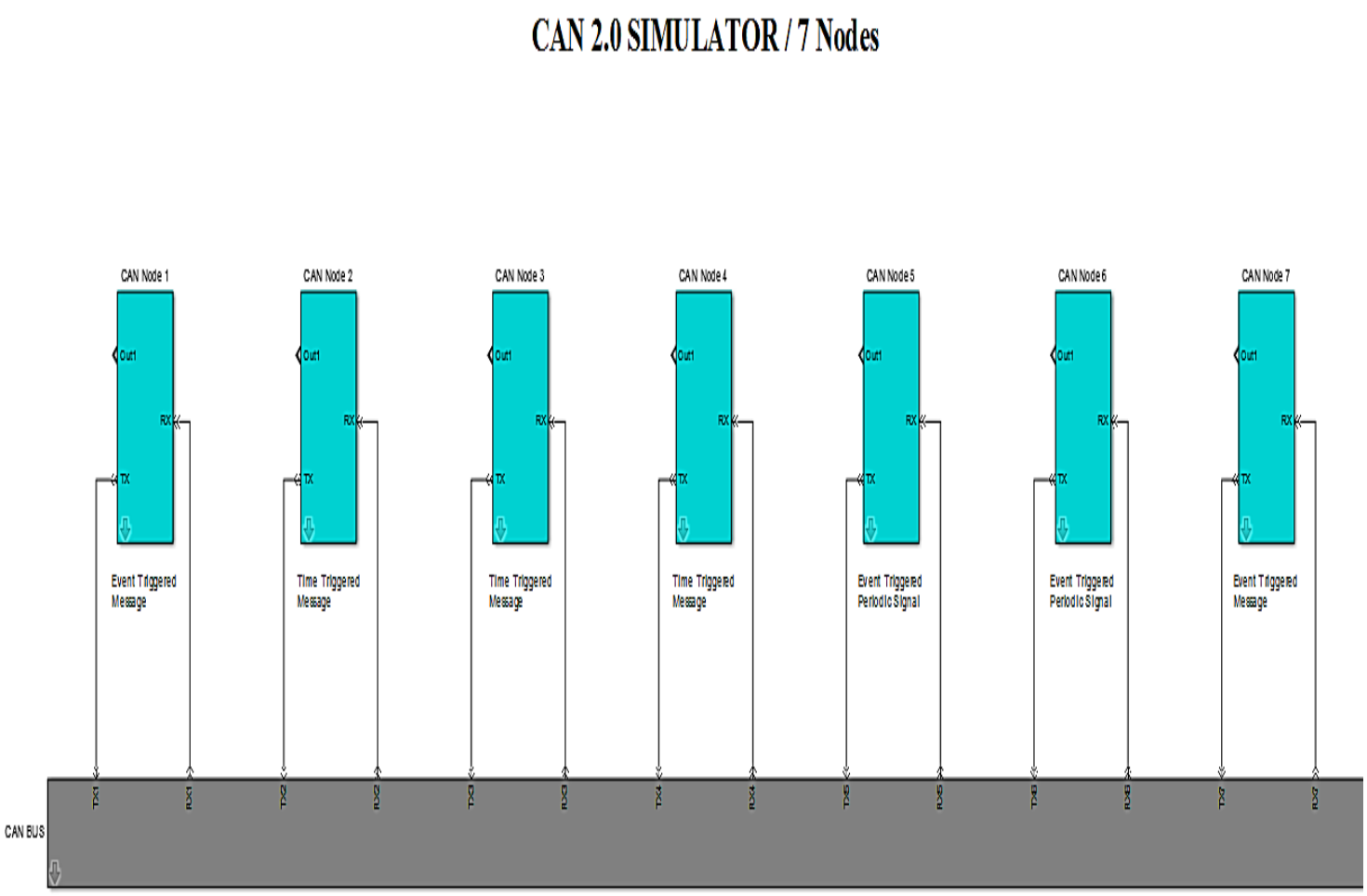
وبالتالي تكون عناصر المحاكاة entities هي الرسائل المنتقلة عبر المسارserver، الذي يمثل المخدم الوحيد، فيما تمثل تقنية تحسس الحامل الكشف عن إمكانية الإرسال عبر الطوابير، وتحمل كل رسالة سمات attributes تتلخص بالمعلومات المحمولة وهوية العقدة المرسلة.

- وبعد التعرف على أدوات مكتبة SimEvents يمكننا الآن البدء بعملية النمذجة والمحاكاة لبروتوكول CAN.

9- بنية وظروف المحاكاة:

في البداية تجدر الإشارة إلى أن المحاكاة هنا ليست على مستوى البت (فأنا لا أقوم بإرسال إطار بيانات مكون من بتات لكل منها عمله الخاص كما في إطار نقل المعطيات في الشكل(3) الذي يمثل إطار نقل المعطيات الفيزيائي في بروتوكول CAN)، وإنما محاكاة لخوارزمية الإرسال المتبعة من قبل بروتوكول CAN مع تضمين جميع البارامترات المؤثرة على عملية الإرسال. الفارق الأساسي بين المحاكاة والواقع هو أننا لم نتناول فكرة كشف الخطأ التي تتم على مستوى البت، ولم نضمن فكرة الإطار البعيد أو إطار الخطأ -يجدر بالذكر أن أنواع الرسائل المستخدمة في المحاكاة كالرسائل العشوائية المقدوحة تبعاً للحدث توصل فكرة طلب الإطار البعيد وكشف الخطأ بشكل عام-. أما إطارات البيانات فقد تم تضمينها بشكل كامل، وتوليدها بالاعتماد على الزمن بالنسبة لبعض العقد، وبالاعتماد على حدث معين (مهما كان) لبعضها الآخر. وبهذا نكون قد ضمنا جميع الحالات التي تتولد الرسائل من أجلها في الأنظمة المادية الواقعية.

تم تصميم النموذج بعد الاطلاع على المراجع (Ignell, 2014) (The MathWorks, Simulink® User's Guide, 1990–2015) وبشكل يسهّل للمستخدم فهمه كما هو موضح بالشكل (6) الآتي:



شكل (6) محاكي لبروتوكول CAN2.0 بسبع عقد

حيث يتكون من عدد من العقد (هنا سبعة) ومسار Bus وحيد.

تم تقسيم العقد حسب ظروف الإرسال إلى:

1- عقد مولدة للرسائل دورياً (كل زمن Tint) Time Triggered Message وهي من M2 إلى M4.

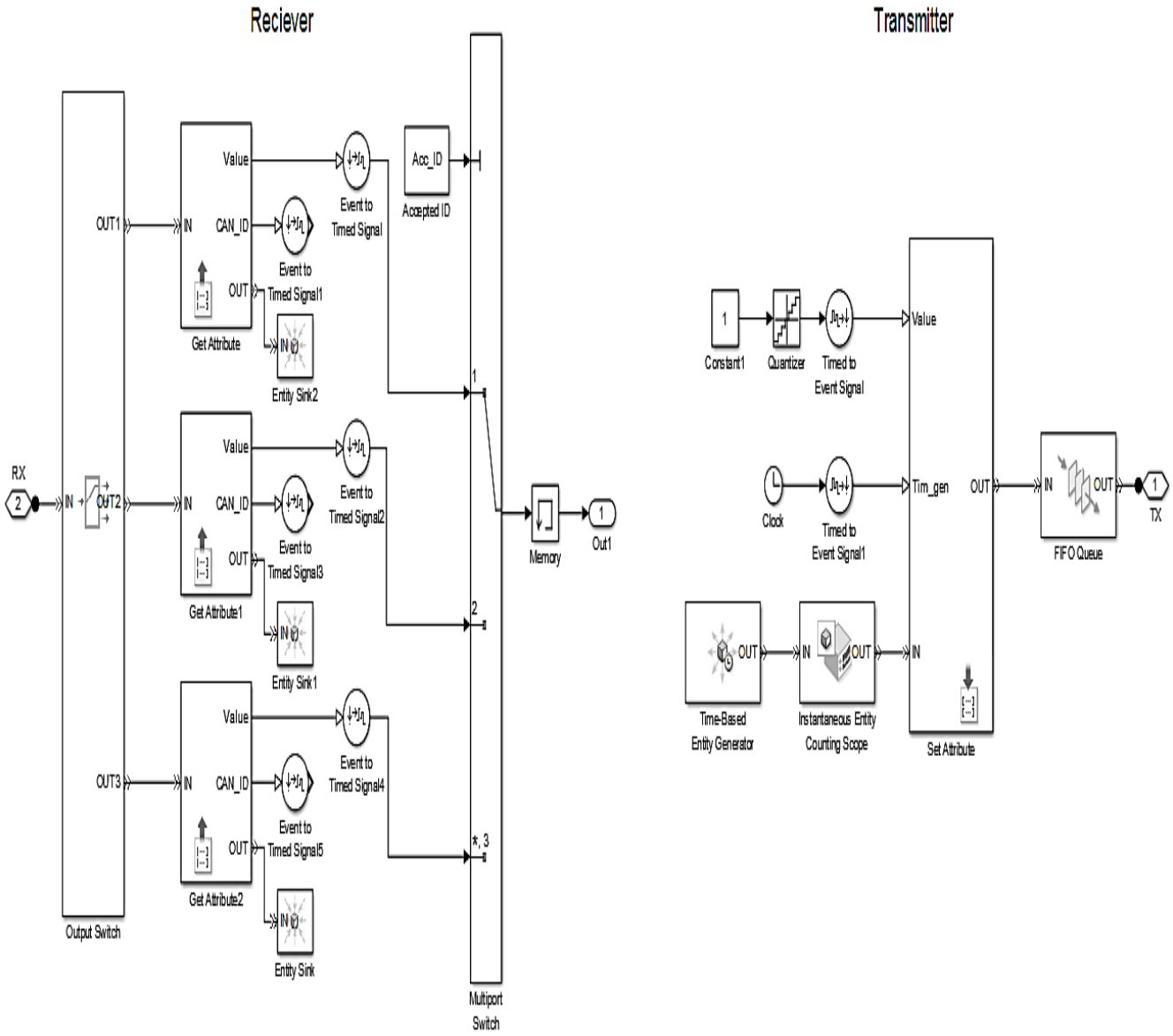
2- عقد مولدة بالاعتماد على حدث معين (مهما كان هذا الحدث) Event Triggered Message وهي M1 وM7.

3- عقد مولدة دورياً تقدح بالاعتماد على حدث معين لزمن معين Event Triggered Periodic Signal وهي M5 وM6.

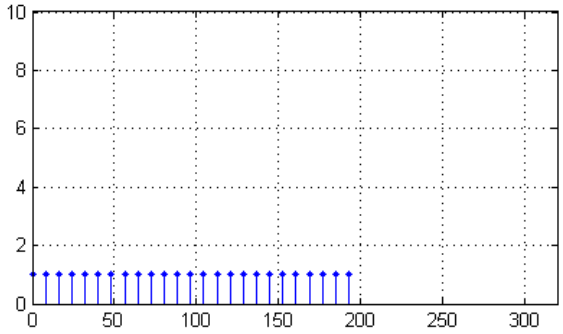
وبذلك نكون قد قمنا بتضمين جميع الحالات الممكنة لتوليد الرسائل في النظم المادية الواقعية ضمن هذا النموذج، أما أولوية هذه الرسائل فإن الرسالة M1 تملك الأولوية العليا حتى M7 التي تملك الأولوية الدنيا.

10- بنية العقدة في النموذج البرمجي:

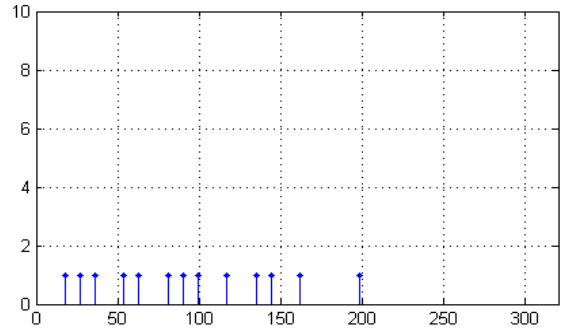
يبين الشكل (7) الآتي بنية العقدة التي تولد رسائلها دورياً بالاعتماد عل الزمن، حيث تقوم بإرسال رسالة جديدة كل Tint (ms)، ثم تقوم بإسناد سمات (القيمة المرسلة – زمن الإرسال – هوية CAN)، هذا من أجل قسم الإرسال. أما بالنسبة لقسم الاستقبال تقوم العقدة بمساعدة بلوك MultiPort Switch بفلترة الرسائل الواردة، واختيار الرسالة التي تخص العقدة والتي تحمل العنوان Acc_ID.



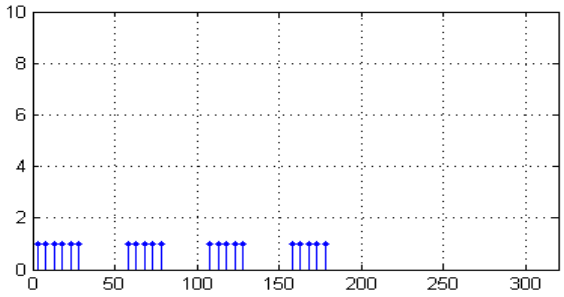
شكل (7) بنية عقدة بقسميها المرسل والمستقبل



شكل (8) رسائل متولدة دورياً

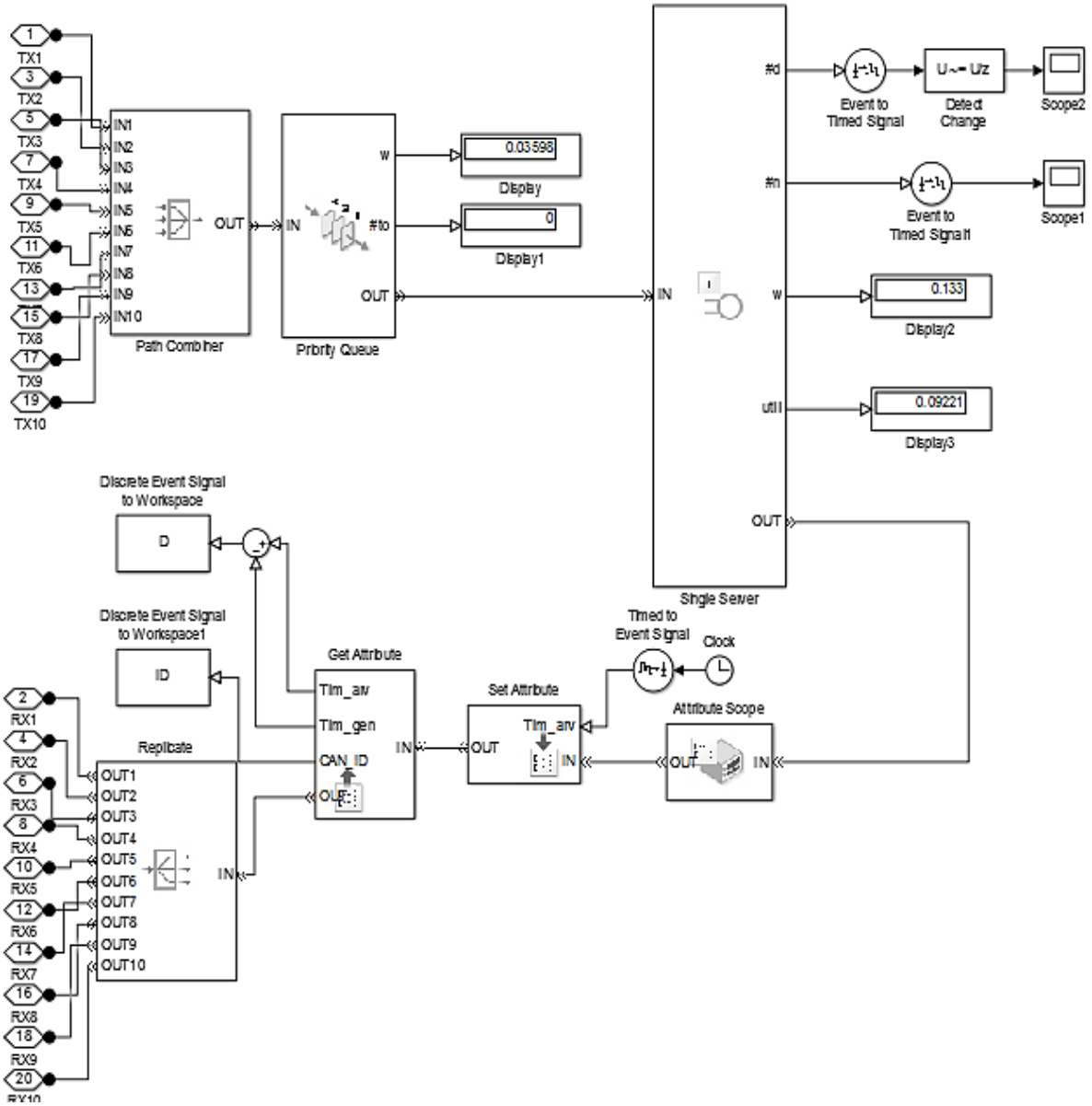


شكل (9) رسائل متولدة تبعاً للحدث (عشوائية)



شكل (10) رسائل مقدوحة تبعاً للحدث (عدة رسائل)

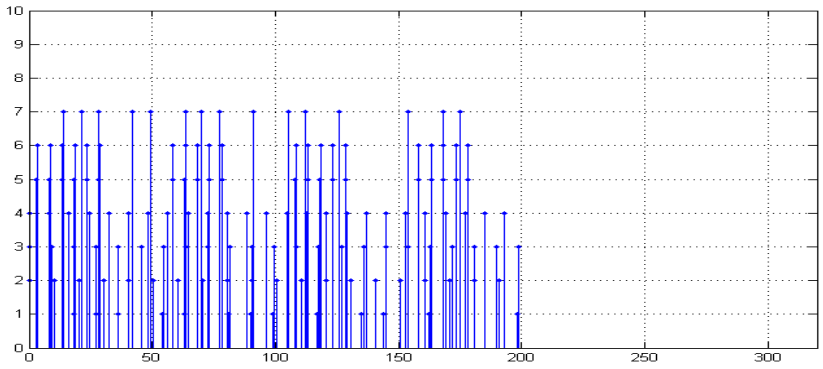
11- بنية CAN BUS في النموذج البرمجي:



الشكل (11) بنية مسار نقل البيانات في نموذج الماتلاب

- بعد القيام بعملية المحاكاة للنموذج نحصل على النتائج والمخططات الآتية.

الرسائل التي عبرت المسار عند المحاكاة مبينة بالشكل (12) التالي الذي يوضح نتيجة التحكيم:



شكل (12) الرسائل التي عبرت المسار خلال المحاكاة

يبين هذا المخطط عدد الرسائل التي تم نقلها على المسار (عددها 138 رسالة)، خلال زمن المحاكاة 200ms، وتبعية كل رسالة لأحد العقد السبعة.

يلعب BitRate دوره في بلوك server لتحديد الزمن الذي تستغرقه الرسالة أثناء انتقالها في المسار (Corrigan, 2002).

$$[A]\ T_{trans} = \frac{message\ length}{BitRate*1000}\ [s]$$

بالنسبة لطول الرسالة نستعرض الجدول (2) الآتي الذي يعرض عدد البتات الأعظمي الذي يمكن للرسالة الواحدة أن تحمله (Ghosal, 2012):

جدول (2) عدد البتات الأعظمي الذي يمكن للرسالة الواحدة أن تحمله

	توصيف القسم	عدد البتات
1	حقل بداية الإطار SOF field	1
2	حقل التحكيم Arbitration field (CAN ID &RTR)	12
3	حقل التحكم (reserved and DLC)	6
4	حقل المعطيات data field	64
5	حقل كشف الخطأ CRC field	16
6	حقل الإعلام بالوصول ACK field	2
7	نهاية الإطار EOF field	7
8	حقل فصل intermission field	3
9	بتات الحشو – سيناريو أسوأ حالة	22

وبالتالي فإن أكبر حجم للرسالة الواحدة في أسوأ حالة لبتات الحشو وعند اختيار حجم المعطيات $S_m = 8\ byte$ في الإطار هو 133 bit.

$$[B]\ T_{trans} = \frac{69+8S_m}{BitRate*1000}$$

كما هو مبين بالشكل (11) تم طرح زمن الوصول من زمن التوليد للرسالة (والمصاحب لها كسمة) من أجل الحصول على الزمن الكلي من لحظة التوليد وحتى الوصول Tcan-delay.

$$[C]\ T_{CAN-delay} = p\ T_{trans} + N\ T_{trans} + T_{trans}$$

يمثل الحد الأول من العلاقة [C] الزمن الذي تنتظره الرسالة (مهما كانت أولويتها) حتى فراغ الخط لتبدأ بالإرسال، حيث p يأخذ أحد القيمتين [0,1] واللتان تدلان على مشغولية الخط أو عدم مشغوليته. فيما يدل الحد الثاني على الزمن الذي تنتظره الرسالة الأقل أولوية حتى تمر N رسالة ذات الأولوية الأعلى. والحد الثالث هو الزمن الطبيعي الذي تستغرقه الرسالة في المسار.

تفسر العلاقة [C] الدراسة الإحصائية لنتائج المحاكاة. ونلاحظ عدم إمكانية تحديد الحد الأول، وصعوبة تحديد الحد الثاني ببساطة رياضياً. وهذا ما يزيد من أهمية النموذج المصمم في هذا البحث، حيث يقوم بلوك server بحساب قيمة المشغولية بشكل مباشر وإظهارها على بلوك display3 في الشكل (11).

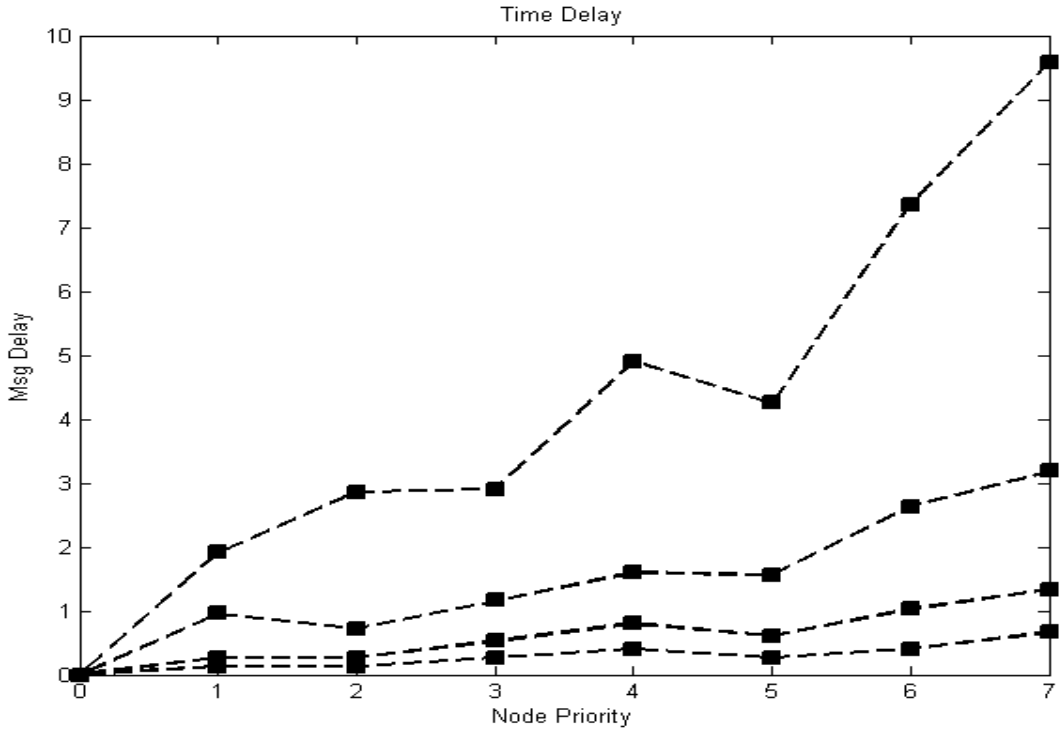
12-النتائج:

دراسة علاقة درجة الأولوية بزمن التأخير للرسالة:

باعتماد بارامترات المحاكاة الآتية:

GEN_TIME = 5; %mS (زمن توليد الرسالة) / DS = 8; %bytes(كمية البيانات التي تحتويها رسالة العقدة)، وبتغيير BitRate بالقيم: 125/250/500/1000 وجميعها بواحدة Kbps.

وكما تم الإشارة مسبقاً أن الدراسة تتم ضمن سيناريو أسوأ حالة أي أن عدد بتات الحشو أكبر ما يمكن.



شكل (13) العلاقة بين درجة الأولوية وزمن تأخير الرسالة عند: BitRate 125/250/500/1000 Kbps

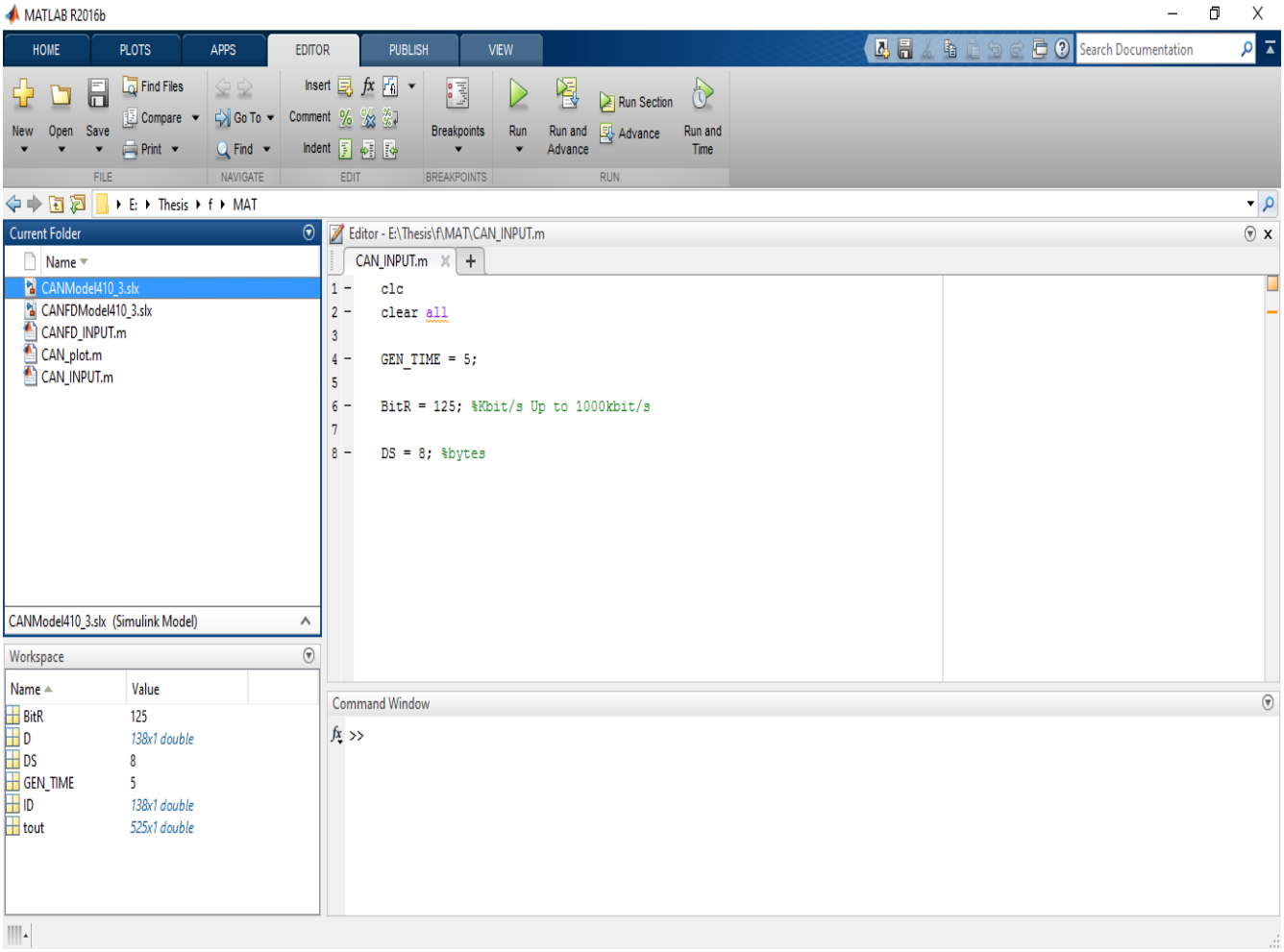
فيما يلي جدول (3) بالقيم الناتجة عن المحاكاة:

جدول (3) نتائج المحاكاة باستخدام برنامج الماتلاب

BitRate(Kbps)	Av.D(mS)	AvMx.D(mS)	Mx.D(mS)	Util.
125	1.8946	4.2216	9.5760	**0.7323**
250	0.6752	1.4767	3.1920	**0.3681**

BitRate(Kbps)	Av.D(mS)	AvMx.D(mS)	Mx.D(mS)	Util.
500	0.3033	0.6039	1.3300	**0.1843**
1000	0.1465	0.2826	0.6650	**0.0922**

BitRate(Kbps) معدل نقل البيانات بالكيلو بت في الثانية، Av.D(Ms) متوسط كل التأخيرات بالميلي ثانية، AvMx.D(mS) متوسط القيم العظمى للتأخيرات بالميلي ثانية، Mx.D(mS) القيمة العظمى للتأخير بالميلي ثانية، Util مشغولية الخط. وقد تم أخذ نتائج هذه المحاكاة من تبويبة workspace في واجهة برنامج الماتلاب كما هو موضح في الشكل (14)، وذلك بعد تشغيل الكود البرمجي المكتوب بلغة M-file والمحاكاة للنموذج المصمّم للشبكة، كذلك الأمر بالنسبة للمخططات البيانية في الشكل (13).



شكل 14: واجهة برنامج ماتلاب عند تشغيل الكود البرمجي ونموذج المحاكاة

13- مناقشة النتائج:

لقد تم تطوير بروتوكول CAN بالاعتماد على مجموعة الرسائل القياسية للمعيار SAE، حيث تستخدم هذه القيم كمرجع لتقييم النتائج التي تم الحصول عليها في عمليات المحاكاة. وذلك كما هو مبين في الجداول في (Ken Tindell, 1994).

يعد تحليل تأخير زمن الاستجابة في أسوأ الحالات أمراً مهماً في أنظمة الزمن الحقيقي، لأنه يشير إلى أداء النظام لتحقيق معايير الزمن الأقصى للاستجابة. في الجدول (3) نلاحظ أن قيم التأخير في سيناريو أسوأ حالة ل CAN

التي تم الحصول عليها باستخدام المحاكاة تظهر اختلافاً عن قيم التأخير المرجعية ل CAN. وذلك لأن التأخير في أسوأ الحالات نادر جداً في عمليات المحاكاة، في حين يتم الحصول على القيم المرجعية عن طريق التحليل. تقدم الدراسة في (NAVET, 2012) تقييم ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة والتحليل. ومع ذلك، في معدلات بتات الإرسال المنخفضة مثل 125 Kbps تقدم نتائج المحاكاة والقيم المرجعية قيم تأخير متقاربة، لأنه في سرعات الإرسال المنخفضة يكون من المرجح أن تواجه الرسائل أسوأ حالة للتأخير.

في الشكل (13) نلاحظ ازدياد أزمنة التأخير بشكل كبير عند تناقص BitRate من جهة، ومع نقصان درجة الأولوية من جهة أخرى (K. W. Tindell, 1995). وهذا ما يتضمنه البروتوكول الذي نقوم بمحاكاته، فكلما ارتفعت أولوية العقدة زادت قدرتها في السيطرة على المسار وإرسال رسائلها (Lawrenz, 1993)، وكلما انخفض معدل نقل البيانات المطبق على المسار زاد التأخير في وصول الرسائل. أما بالنسبة لقيم مشغولية الخط في الجدول (3) فيؤثر مدى استعمال المسار على أداء النظام، فزيادة استعمال المسار سيؤدي بالضرورة إلى زيادة التأخير الناتج عن التحكيم، وخاصة للرسائل ذات الأولوية الأقل.

14- الخلاصة:

تصميم نموذج يحاكي عمل بروتوكول CAN 2.0 ويتضمن النموذج ما يتضمنه البروتوكول من: كشف التصادم وتجنبه في المحاكاة عن طريق طابور FIFO الذي تنتظر فيه الرسائل حتى فراغ الناقل - التحكيم بالاعتماد على أسبقية الرسالة عن طريق طابور priority الذي يمثل خوارزمية التحكيم بحيث إن العقدة ذات الأولوية الأعلى لها الأفضلية في إرسال رسائلها على الناقل - الإرسال المتعدد في ذات الوقت broadcast لأن الفلتر الذي يقوم بأخذ لرسالة أو تجاهلها (تبعاً لبرمجته) موجود في القسم المستقبل من العقدة فقط - بنية Multi-Master غير المعتمدة على العنونة لأن كل العقد ترسل الرسائل وتستقبلها ولا يوجد عقدة مشرفة على الناقل - فلترة الرسائل لدى المستقبل واختيار الرسالة المرادة وذلك من خلال الإعدادات البرمجية في القسم المستقبل من العقدة أي بلوك MultiPort Switch - المرونة في إضافة العقد مهما كان عددها فهي مجرد تعديلات بسيطة جداً على النموذج. ثم التأكد من صحة النموذج المُصمّم من خلال القيم المنطقية التي يعطيها والمخططات البيانية التي تماثل خوارزمية البروتوكول المُراد محاكاته.

15- التوصيات والمقترحات:

أ- تطوير نموذج شبكة تعمل وفق بروتوكول CAN، لتتعدى محاكاة إطار البيانات فقط وتحاكي عمل إطارات كشف الخطأ وإطار الإرسال البعيد، كون المحاكاة التي تم تنفيذها لم تكن على مستوى البت وإنما محاكاة لخوارزمية الإرسال في بروتوكول CAN.

ب- تطبيق نموذج عملي لبروتوكول CAN بسبع عقد مادية، ومقارنة نتائج النموذج المُصمّم في البحث مع نتائج النموذج المادي.

ج- زيادة عدد العقد في النموذج المُصمّم، ودراسة تأثير ازدياد العقد بشكل كبير بالنسبة للتأخيرات ومشغولية الناقل.

د- دراسة تأثير التأخيرات الزمنية على عمليات تحكم نموذجية (في السيارات مثلاً)، ولا سيما تلك التي تتصف بكونها Hard Real Time Systems.

16-المراجع (الدوه، 2015):

[1]Cena, G. C. (2013). *Fixed-Length Payload Encoding for Low-JitterController Area Network Communication.* IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 9, NO. 4.

[2]Corrigan, S. (2002). Introduction to the Controller Area Network (CAN). *Texas Instruments*, 17.

[3]E. Harahap, A. N. (2016). A MODELING APPROACH FOR EVENT-BASED NETWORK DESIGN USING MATLAB-SIMEVENTS. *The 2nd International Multidisciplinary Conference*, (p. 5). Jakarta, Indonesia.

[4]Ghosal, M. D. (2012). *Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol Theory and Practice.* Springer Science+Business Media.

[5]GmbH, R. B. (1991). *CAN Specification, Version 2.0.* Bosch .

[6]Ignell, N. B. (2014). *Definition, analysis and implementation of a model-checked Space Plug-and-play Architecture adaptation for the Controller Area Network.* MALARDALEN UNIVERSITY.

[7]Imran Sheikh .(2011) .*Improving the performance and reliability of systems which employ the' CONTROLLER AREA NETWORK 'protocol through low-level changes to the controller implementation* .Leicester, UK: Embedded Systems Research Group Department of Engineering University of Leicester.

[8]JEGANATHAN, N. S. (2007). *A CONTROLLER AREA NETWORK LAYER FOR RECONFIGURABLE EMBEDDED SYSTEMS.* University of Kentucky.

[9]K. W. Tindell, A. B. (1995). CALCULATING CONTROLLER AREA NETWORK (CAN) MESSAGE RESPONSE TIMES. *Control Eng. Practice*, 7.

[10]Ken Tindell, A. B. (1994). GUARANTEEING MESSAGE LATENCIES ON CONTROL AREA NETWORK (CAN). *Real-Time Systems Research Group,University of York*, 11.

[11]Lawrenz, W. (1993). *CAN System Engineering From Theory to Practical Applications.* london: springer.

[12]Lukkien, R. I. (2007). *Controller Area Network (CAN) schedulability analysis: Refuted, revisited and revised.* Springer Science+Business Media.

[13]NAVET, N. (2012). CAN in Automotive Applications:a Look Forward. *13th International CAN Conference*, (p. 21). Hambach Castle.

[14]Provencher, H. (2012). *Controller Area Networks For Vehicles.* Faculty of Engineering and Applied Science University of Ontario Institute of Technology.

[15]Reif, K. (2015). *Automotive Mechatronics Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics.* Springer Vieweg.

[16]Sheher Banu S, S. S. (2017). A Safe Driving Embedded System Integrated With CAN Protocol. *IEEE 7th International Advance Computing Conference*, (p. 4).

[17]The MathWorks, I. (1990–2015). *Simulink® User's Guide.* © COPYRIGHT 1990–2015 by The MathWorks, Inc.

[18]The MathWorks, I. (2005–2015). *SimEvents®Getting Started Guide.* © COPYRIGHT 2005–2015 by The MathWorks, Inc.

[19]سمية النجاشي ، أمل الدوه. (2015).*كتابة وتبويب المراجع APA6*. الرياض ، السعودية: مركز بحوث الدراسات الإنسانية في جامعة الملك سعود.