تقسيم تفاعلي للمعدّات و البرمجيّات مبني على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج

أمينة مقديش، ياسين الحاج قاسم، عادل المحفوظي، محمد عبيد
مخبر أنظمة الكمبيوتر المدمجة، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، ص.ب. 1173 ، 3083 صفاقس، تونس
مخبر أنظمة الكمبيوتر المدمجة، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، ص.ب. 1173 ، 3083 صفاقس، تونس
مخبر أنظمة الكمبيوتر المدمجة، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، ص.ب. 1173 ، 3083 صفاقس، تونس
مخبر أنظمة الكمبيوتر المدمجة، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، ص.ب. 1173 ، 3083 صفاقس، تونس

البريد الإلكتروني: amina.magdich@ceslab.org
البريد الإلكتروني: yessine.hadjkacem@ceslab.org
البريد الإلكتروني: adel.mahfoudhi@fss.rnu.tn
البريد الإلكتروني: mohamed.abid@enis.rnu.tn

الخلاصة. شهدت الأنظمة الإلكترونية المدمجة ذات الوقت الحقيقي مؤخرا تطورا ملموسا زاد تركيبتها و دراستها تعقيدا. لعلّ هذا التطور يفي بمطالب المستخدم و يرضيه إلاّ أنه عقّد مهمة المصمّم. و من هذا المنطلق, إلتجأت عديد الأبحاث إلى استعمال تقنيات الهندسة الموجّهة بالنماذج خلال مراحل تصميم, تجزئة و تحليل جدولة هذه الأنظمة. لئن اتّبعت بعض الأعمال هذه المنهجية, إلاّ أنّها وفّرت تقسيما يدويّا معتمدا بالأساس على خبرة المصمم. كما قدّمت أبحاث أخرى تقسيما ذاتي الفعل يستبعد تماما خبرة المصمم. اشتركت الأعمال المقترحة في تقسيم تتخلله مرحلة تحليل الجدولة. و في هذا الإطار, نعرض من خلال مقالنا طريقة تجزئة آلية و تفاعلية تتميّز باستقلال مرحلة التقسيم عن أداة تحليل الجدولة. ترتكز المنهجية المقترحة في جميع مراحلها على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج.

الكلمات الجوهرية: الأنظمة الالكترونية المدمجة ذات الوقت الحقيقي، نمذجة، تقسيم، تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج، منهج نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي، نموذج استكشاف الحلول.

1 مقدمة

مع التطور المستمر للأنظمة الالكترونية المدمجة ذات الوقت الحقيقي أصبح تصميم النموذج المناسب مهمة معقدة. الشّيء الذي استوجب الاعتماد على منهج خاص لوضع نماذج رفيعة المستوى تمكّن من وصف النظام بنمط تجريدي بحت. في الواقع، تساهم المناهج عالية المستوى في مواجهة تطور هذه الأنظمة من خلال تقليص الوقت و التكلفة اللازمين لتصميمها. كما تُمكّن من تلافي مخاطر الوقوع في أخطاء أثناء التصميم. في الآونة الأخيرة, تم الاعتماد على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج خلال مرحلتي التصميم و التجزئة. و في هذا الاطار, توفّر لغة التصميم الموحدة تحدّيا للتركيبة المعقدة للأنظمة الحالية إذ تقدّم تصميما يشمل مختلف قيود النظام المدروس. و من هذا المنطلق إعتمدت العديد من الأبحاث على ملف نمذجة و تحليل الانظمة ذات الوقت الحقيقي. و ذلك باعتباره تفصيلا للغة التصميم الموحدة غني بمجموعة من القوالب النمطية مخصّصة لدعم وصف النموذج. مما يؤيّد مرحلة التقسيم و تحليل الجدولة. لا تُعتبر نمذجة الانظمة المعقدة التحدّي الوحيد للمصممين حيث يمثل تقسيمها [فانميربيك و من معه, 2008] المهمة الاصعب. و في هذا السياق, إختلفت الطُّرُق المقترحة لتجزئتها وتحليل جدولتها. و لئن اعتمدت بعض الأبحاث على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج خلال مرحلتي النمذجة و التجزئة على حدّ السواء. إلاّ أن التقسيم المقترح تميّز باليدوية [غاماتي و من معه, 2008] [أولانير و من معه, 2009] [مورا و من معه, 2008] أو بالشبه آلية [موريلّو و من معه, 2009] [مارسيو و من معه,2007] معتمدا بالأساس على خبرة المصمّم. في حين قدّمت أبحاث أخرى منهجيات تقسيم آليّة مستبعدة بذلك خبرة المصمم [تمر و من معه,2006]. تشترك المنهجيات المقترحة في تقديم تقسيم يتوقّف على جهاز تحليل الجدولة. في الواقع، قد تتسبب طريقة التقسيم

اليدوية في العودة إلى نقطة البداية و إعادة جميع مراحل التقسيم نتيجة وقوع المصمم في خطأ أثناء التجزئة. في حين أنّ التقسيم الآلي قد يؤدي إلى الحصول على نتائج لا تفي بالغرض بسبب الاستبعاد التام لخبرة المصمم. ولذا فإنه من الضروري إدراجه في مرحلة البحث عن حلّ مناسب يستجيب لشروط التكلفة و وقت التسويق. و في هذا الإطار, تتمحور مقالتنا من ناحية أولى حول تقديم منهجية على مستوى عالي من التجرّد مبنية على منهج نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي, لتخطّي صعوبة تصميم هذه الأنظمة المعقّدة و توفير نموذج موحّد. و من ناحية ثانية, حول اقتراح تقسيم آلي و تفاعلي يدرج خبرة المصمم أثناء مرحلة البحث عن الحل الأمثل للتجزئة الذي يتماشى مع قيود التكلفة وصغر حجم هذه الأنظمة و وقت التنفيذ. تعتمد الطريقة المقترحة في جميع مراحلها على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج كما تتميز باستقلاليتها عن أيّ تحليل للجدولة قد يقع على المدى البعيد.

2 أعمال ذات صلة

اهتمت عديد الابحاث بمشكل نمذجة و تقسيم الانظمة المعقّدة فتمّ في معظمها الاعتماد على منهجيات عالية المستوى للتصدّي لصعوبة تصميمها. في حين اختلفت توجّهاتها في ما يخصّ التقسيم. و في هذا الإطار، توفر المواصفة البيانية لنظم الحوسبة المتوازية و الموزعة [غاماتي و من معه, 2008] مجالا مخصصا لتصميم الأنظمة المعقدة المدمجة في الشرائح الإلكترونية. كما توفّر منهجية للحصول على تصميم موحّد عالي المستوى للبرمجيات و المعدّات على حد السواء إضافة إلى تقسيم الأنظمة يدويّا و جدولتها خلال مرحلة التجزئة. و في نفس الإطار إهتمت مقالة "دينيس أولانير" [أولانير و من معه, 2009] بتقديم منهجية تصميم تعتمد على نمذجة و تخصص البرنامج و تقنيات الهندسة الموجّهة بالنماذج. اعتمدت الطريقة المقترحة على منهجيات عالية المستوى حيث تم الدمج بين نمذجة و تحليل أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة و تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج. بالرغم من أن الأعمال المقترحة ساهمت في مواجهة صعوبة تصميم الأنظمة المعقدة, إلا أنها أثارت بعض الإشكاليات فهي لا تدعم توفير نموذج موحد و مكتمل. و الأهمّ من ذلك, أنها تترك جانبا المفاهيم الخاصة بنموذج توليد حلول التقسيم. إلى جانب اعتمادها على تقسيم يدوي تتخلله مرحلة تحليل جدولة. و من هنا اعتمد "مارسيلّو مورا" في مقالته [مورا و من معه, 2008] على كل من لغات نمذجة الأنظمة و نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي من أجل تقديم تصميم شامل و مدمج على مستوى عالي من التجرّد لغاية التمهيد لإعداد نموذج توليد الحلول. و لكن مرحلة البحث عن الحلول المثلى التي تم اقتراحها في هذا المقال هي أيضا يدوية تشمل تدخلا من طرف المصمم حيث أنه بالإعتماد على خبرته، يقوم باحتساب ما يسمى " نقاط الباريتو" التي تستبعد الحلول الغير متشابهة. كما يقوم في مرحلة موالية باختيار الحلول المثلى التي تلائم القيود المفروضة. و بالتالي, فإنّ هذا المنهج المُتّبع لتقسيم الأنظمة لا يتميز بالآلية و يرتكز خاصة على مهارة المصمم. و كما سبق الذكر, فإن كل خطأ في اختيار حلول التجزئة قد يُسبّب العودة إلى نقطة البداية و إعادة جميع مراحل التقسيم. و على هذا الأساس, يحاول "لويس غابريال موريلّو" في مقالته [موريلّو و من معه, 2009] تقديم طريقة شبه آلية تعتمد على منهجية نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي. في الواقع، يؤثر إدراج المصمم في مرحلة البحث عن الحلول المناسبة على نوعية النتائج المتحصل عليها. و من هنا تهتم مقالة "مارسيو" [مارسيو و من معه,2007] من جهة بضرورة استعمال تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج لغاية تصميم الأنظمة المعقدة المدمجة في الشرائح الإلكترونية و تحدي تعقيد تركيبتها و من جهة أخرى تقدم منهجا يسمح للمصمم في مرحلة مبكرة من مراحل النمذجة أن يختار بنفسه أفضل حلول التصميم. لعلّ تلك الطرق تميزت بالتفاعلية إلا أنها غير آلية. و من هذا المنطلق، قدّم "ياسين الحاج قاسم" [الحاج قاسم و من معه, جوان 2010] منهجية آلية و تفاعلية مقتادة بتقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج لتقسيم الأنظمة المعقدة. تعتمد الطريقة المقترحة على تقنيات عالية المستوى. كما تمتاز بإستفادتها من خبرة المصمم. إلاّ أنها لا تستند إلى أساليب المنهج العلمي أثناء البحث عن الحل الأمثل. في الواقع، إنّ الوظيفة المعتمدة لتوجيه مرحلة التقسيم تساعد فقط على احتساب تكلفة الحلول المقترحة مما قد يؤدي إلى عدم الحصول على الحل الذي يوفر التكلفة الأقل. كما أنها قد لا توفر حلاّ يرضي المصمم مما يدعوه إلى تغيير توجّه التقسيم ليصبح تقسيما على أجهزة النظام المادّية. و يتم بذلك استبعاد حلول التقسيم على البرمجيات. ممّا يفضي إلى إمكانية التخلي عن حلول قد تكون هي الأفضل. و هو ما سيتم بحثه خلال هذه المقالة التي ستتمحور حول جزئين: يلخص الجزء الأول المنهجيات عالية المستوى المعتمدة لتصميم الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي على مستوى عالي من التجرّد. في حين يعرض الجزء الثاني إقتراح منهج تقسيمي آلي و تفاعلي يتضمن خبرة المصمم و يكون مستقلا عن أي تحليل جدولة قد يقع على المدى البعيد. ستتميز الطريقة المقترحة بالإعتماد على أسلوب علمي لتوجيه مرحلة البحث عن الحل الأمثل الأقل تكلفة.

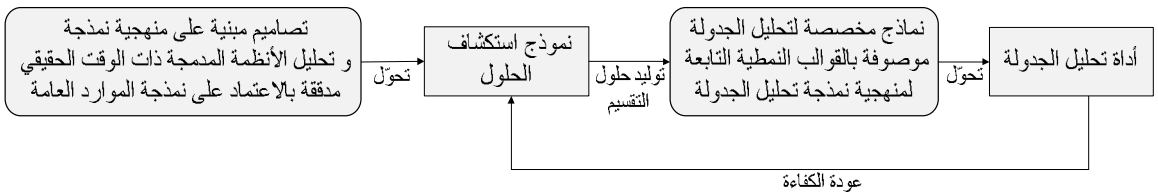
3 منهجيات النمذجة في إطار تصميم, تجزئة و تحليل جدولة أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة

لقد شهدت تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج [شميدت,2006] مؤخرا تطورا ملموسا مما ساهم في دعم تصميم الأنظمة الإلكترونية المعقدة. و من هذا المنطلق سنعتمد تصميما مدعوما بهذه التقنيات الهندسية الحديثة. كما نحتاج إلى تحديد خصائص النظام بصفة تفصيلية مما يستدعي الاعتماد على منهج دقيق و جديد يمكّن من نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي. في الواقع, نحاول من خلال الطريقة المقترحة في هذا المقال التقريب بين النمذجة و التجزئة في إطار تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج.

3.1 تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج و تنمية أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة

تُعتبر تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج شكل من أشكال الهندسة التوليدية تتميز بمنهج يجعل كل أو جزء من أحد تطبيقات الكمبيوتر متولدة عن النماذج. تُعتبر هذه التقنية فرعا من فروع لغات الهندسة التي تمكّن من دعم تصميم الأنظمة المعقدة على مستوى تجريدي عالٍ من خلال إعداد نموذج يشمل وصف هيكلها و مواصفاتها السلوكية. و في الواقع، فإنّ الهندسة المقتادة بالنماذج تُعتبر منهجا محددا لهندسة البرمجيات التي تهدف إلى إعداد الإطار النظري لإنشائها نتيجة التحولات المتعاقبة للنموذج. تشمل هذه الهندسة عدة مفاهيم مثل مفهوم النموذج و النموذج الأعلى و تحولات النماذج. و لئن اعتُبِرت مثيرة للاهتمام فإن ذلك يعود للمنافع التي توفرها من حيث استقلاليتها عن التطورات التكنولوجية و توفيرها لنمذجة متميزة للأنظمة المعقدة التي يصعب تصميمها إلى جانب تمكينها من إعادة استخدام النماذج. إضافة الى أن هذه الهندسة تعتمد على لغة التصميم الموحدة و بالتحديد نمذجة و تحليل أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة لغاية وصف النماذج بأكثر دقة بالاعتماد على خصائصها النوعية و الكمية المعروفة باسم الخصائص غير الوظيفية.

3.2 الطريقة المقترحة



الشّكل1. مراحل التصميم و البحث عن الحل الأمثل

تتم مرحلة التصميم بالاعتماد على منهجية نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي و بالتحديد نمذجة الموارد العامة. يتمّ تحويل التصميم المتحصل عليه إلى نموذج لتوليد الحلول المثاليّة. و يمثّل الحل الأمثل المتولّد إمكانية لتجزئة المهام البرمجية على مختلف الأجهزة الحسابية للنظام. و بما أنه يمكن ألاّ يكون ذا جدولة مجدية، وجب تحليل جدولته [شا و من معه, 2008] إستنادا إلى جهاز مختص يعمل باستقلالية تامة عن نموذج استكشاف الحلول. و لذلك سيتم في مرحلة أولى تحويل الحل المتولّد إلى نموذج موصوف بالقوالب النمطية التابعة لمنهجية نمذجة تحليل الجدولة و في مرحلة ثانية تحويل النموذج المتحصل عليه ليتم بحثه من خلال جهاز تحليل الجدولة. و عليه، إذا كانت جدولة الحل الأمثل غير ملائمة يقع الرجوع إلى نموذج توليد الحلول، و هو ما يعرف بعودة الكفاءة لتوليد حل أمثل آخر حتى الحصول على حل ذي جدولة ملائمة يفي بمطالب المصمم. إن مختلف مراحل الطريقة المعتمدة مرتكزة على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج و خاصة مفهوم التّحوّل.

3.3 ملفّ نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي

هو تفصيل من لغة التصميم الموحدة موجّه بالأساس لتصميم نماذج مخصصة لأنظمة الزمن الحقيقي المدمجة و تحليل برمجتها. تشمل هذه التقنية عدة مفاهيم و دلالات كما أنها توفر الأسس اللازمة لتنفيذ تصميم دقيق موجه بالنماذج على مستوى تجريدي عال [أو م ج, 2008]. من أهم خصائص هذه التقنية توفير تصميم موحّد للبرمجيّات و المعدّات. و لعلّ ما يزيدها أهمية أنها تكتسي مجموعة هامة من القوالب النمطية مخصّصة لدعم وصف النموذج و تحليل الجدولة. فهي تمكّن من تحليل الشروط الزمنية من خلال وصفها للخصائص غير الوظيفية للنظام. و بالتالي فإن هذه التقنية تتمحور حول شاغلين: من جهة تصميم نموذج فريد و موحّد للنّظام يشمل خصائص كل من البرمجيات و المعدّات و من جهة أخرى وصف دقيق للنموذج بالاعتماد على القوالب النمطية. ممّا يساهم في دعم مرحلة التجزئة و تحليل الجدولة و ذلك بفضل دقّة التصميم و احتوائه على مختلف الخصائص غير الوظيفية للنظام. تمكّن هذه التقنية من التّصدي للاختلاف بين مجال النمذجة و مجال التحليل لهدف إنشاء رابط يمكّن من عودة الكفاءة لغاية تطوير جودة التصميم.

3.4 الجمع بين تقنيتي لغة التصميم الموحدة و الهندسة الموجهة بالنماذج لتصميم الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي

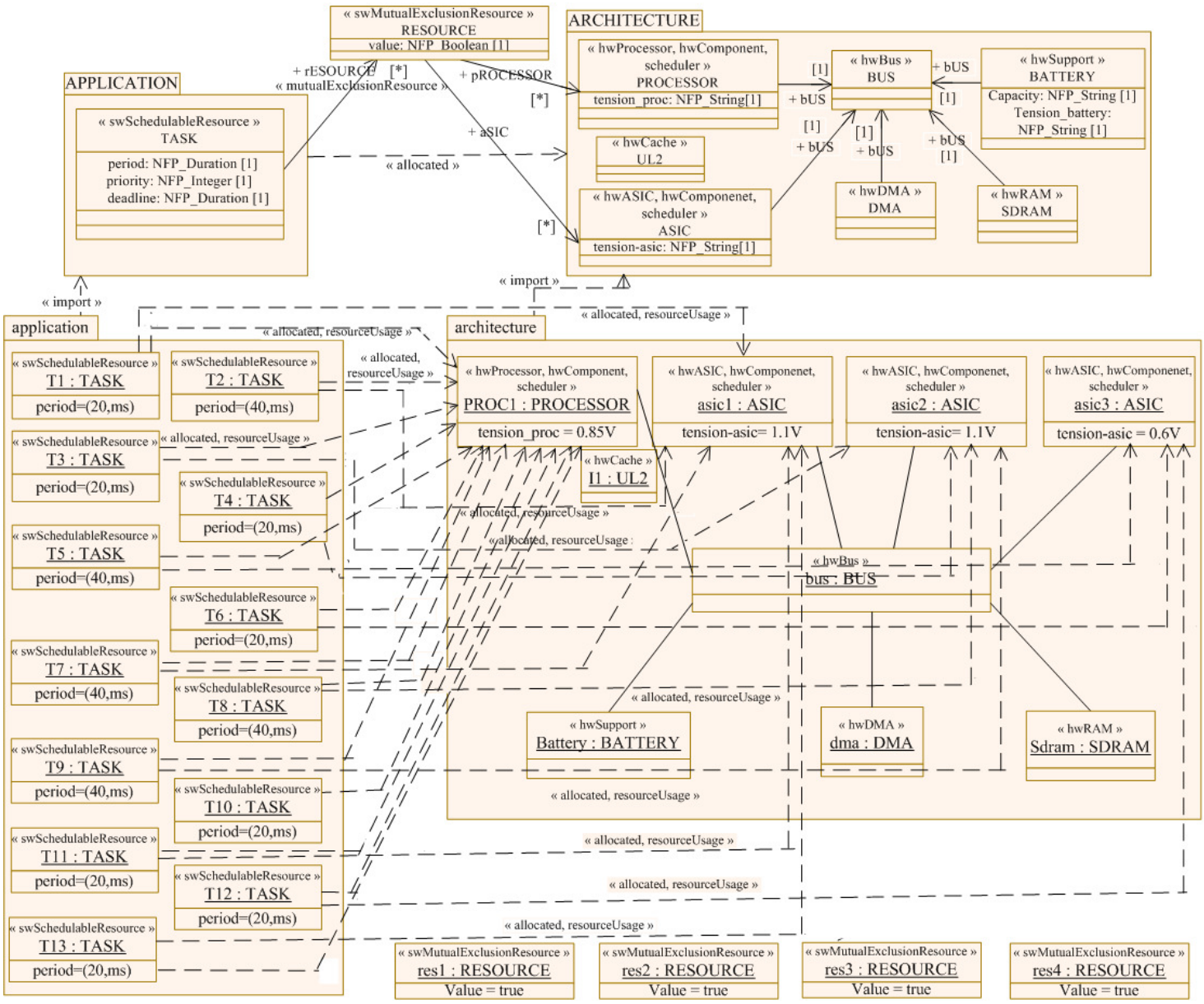
تناغم هاتين التقنيتين يمثل توجها جديدا و في غاية الأهمية في مجال النمذجة لأنه يساعد على رفع مستوى التجرّد من جهة و على التصدي لتعقيد الأنظمة و مخاطر تنميتها من جهة أخرى. إضافة إلى أنّ الجمع بين هاذين المنهجين يوفر تقنيات لتحسين قابلية النقل، صيانة و إعادة استخدام النماذج المصمّمة. يقدّم الشكل 2 تصميما لنظام زمن حقيقي مدمج يرتكز على هاتين المنهجيتين. يتمثل النظام المدروس في لاعب كرة قدم آلي. يتكوّن التصميم المقترح من نموذج و نموذج مثيل. يجدر الاشارة إلى أن النموذج الأعلى مُحدّد مسبقا نعتمد عليه دون الحاجة إلى تصميمه.

يتكوّن النموذج من حزمتين لوصف مجموعة أجزاء النظام و مهامّه البرمجية. إلى جانب احتوائه لفئة تمكّن من حماية الجهاز الحسابي من تزامن استعماله في بعض الحالات. و بذلك تمثّل إمكانية تنفيذ المهمة البرمجية على الجهاز الحسابي. و قد تمّ وصف هذا القسم من خلال القالب النمطي « swMutualExclusionResource ». تتكون الحزمة الأولى « APPLICATION » من فئة واحدة « TASK » تمثل مختلف المهام البرمجية للنظام و هي موصوفة بـ« swSchedulabeResource ». يحتوي هذا القسم على مختلف مميّزات المهمة البرمجية مثل الأولية في التنفيذ على الجهاز الحسابي« priority ». أمّا فيما يخص الحزمة الثانية « ARCHITECTURE » فهي تجمع بين مختلف الأجزاء المادية و البرمجية للنظام التي يقع تمثيلها من خلال أقسام موصوفة بالقوالب النمطية المناسبة. تتمثل أجهزة كل نظام زمن حقيقي مدمج في أجهزة حسابية مادية « hwASIC » أو برمجيّة « hwProcessor ». إلى جانب ذلك, نجد أجهزة الذاكرة الموصوفة بـ« hwCache » أو« hwDMA » أو « hwRAM » و مولد الطاقة«hwSupport». يشمل النظام وسيلة اتصال « hwBus » تجمع بين مختلف هذه الأجهزة.

لتنفيذ المهام البرمجية على الأجهزة الحسابية للنظام, نعتمد على سهم يفيد التبعيّة يجمع بين الحزمتين « APPLICATION » و « ARCHITECTURE » و يقع وصفه من خلال القالب النمطي « allocated ». استنادا إلى مفهوم الوراثة, يمكن الاعتماد على النموذج لتصميم النموذج المثيل لأيّ نظام زمن حقيقي. في الواقع, نبرز من خلال النموذج المثيل خاصيات النظام المدروس بتصميم أجهزته و تحديد مختلف مهامه البرمجية و تدقيق خاصياته. و لذلك نصمّم حزمة تحت إسم « application » ترث الحزمة « APPLICATION » و تمكّن من تحديد مختلف المهام البرمجية المكوّنة للنظام المدروس و من تحديد قيمة كل صفة من صفات الفئة التي تمثل المهمّة. إلى جانب ذلك, نصمّم الحزمة « architecture » التي ترث « ARCHITECTURE » و تمكّن من تحديد عدد أجزاء النظام المادية و البرمجية و مختلف خاصياتها. لإبراز مختلف امكانيات تنفيذ المهام البرمجية على الاجهزة المناسبة, نعتمد على سهم يربط بين المهمة و جهاز الحساب المناسب. و يقع وصفه بـ ,allocated » .resourceUsage »

يتكون نظام الرجل الآلي الذي نتولّى دراسته من جهاز حسابي برمجي « PROC1 », ثلاثة أجهزة حسابية مادية « asic1 », « asic2 », « asic3 », جهازين للذاكرة « dma » و« sdram », مولّد للطاقة « Battery » و جهاز اتصال « bus » يجمع بين مختلف هذه الأجهزة.

كما يتكوّن هذا النظام من ثلاثة عشر مهمة برمجيّة يمكن تجزئتها بعدة طرق على مختلف أجهزة النظام المادية و البرمجية. فعلى سبيل المثال, يمكن تنفيذ المهمة البرمجية T1 على الجهاز البرمجي "PROC1" أو على الجهاز المادّي "asic1". تتمثل مهمتنا في اختيار أفضل حلول التجزئة التي تستجيب لشروط التكلفة ووقت التسويق.



الشّكل2. تصميم لنظام زمن حقيقي مدمج : لاعب كرة قدم آلي

4 نظرية التقسيم

عمدت الأعمال القائمة على تقسيم ذاتي الفعل إلى استعمال أجهزة خاصة مثل "RTDT" و هو جهاز آلي لتقسيم الأنظمة و تحليل جدولتها. و يحتوي على العديد من الميزات المتعلقة بالتصميم الموحد وتقسيم البرمجيات و المعدّات على حد السواء و تحليل الجدولة. مع بحث مواصفاته بما في ذلك خاصيات الحلول التي يبحثها، تُطرح الإشكالية

الموالية: لم لا يتم تحويل النماذج الموصوفة استنادا إلى القوالب النمطية التي توفرها منهجية نمذجة و تحليل الأنظمة ذات الوقت الحقيقي مباشرة لنموذج لهذا الجهاز ليس فقط لغاية تحليل الجدولة و لكن أيضا للبحث عن الحل الأمثل؟ في الواقع هذا ما تم بحثه في المقال [الحاج قاسم و من معه, ماي 2010]. و لكن تبقى إشكالية الاعتماد على أداة تحليل الجدولة مطروحة. إلى جانب ذلك, فالطريقة المقترحة تتميز بالآلية و تستبعد تماما المصمم و لا تستفيد من خبرته. و بذلك يتمثل الهدف الرئيسي لمقالتنا في اقتراح طريقة آلية و تفاعلية مبنية على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج لتجزئة أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة. تمتازطريقة التقسيم المقترحة باعتمادها على أساليب أبحاث العمليات و استقلاليتها عن أي تحليل للجدولة قد يقع على المدى البعيد. و تتلخص نظرية التقسيم في اختيار تنفيذ للمهام البرمجية على أجزاء النظام الملائمة سواءا كانت هذه الأجزاء متمثلة في أجهزة الحساب المادية أو البرمجية. تهدف نظرية التقسيم إلى الحصول على حلول تنفيذية بأقل التكاليف فيما يخص الثمن، الاستهلاك الطّاقي، وقت التنفيذ و مساحة النظام. و من هذا المنطلق، يُعتبر مشكل التقسيم فرعا من فروع أبحاث العمليات التي تعتمد على إيجاد الحل بأقل التكاليف. و تمثل هذه الأخيرة مجموعة الأساليب و التقنيات التي تعزز البحث عن افضل الحلول. تعتمد هذه النظرية على نماذج مفاهيمية تمكن من تحليل وضعيات معقدة كما تمنح المصمم فرصة اتخاذ أفضل الخيارات لإنشاء الحل الأمثل مع مراعاة للمعايير المحددة (تكلفة). توجد منهجيتان لحل مشكل التقسيم: منهجية دقيقة و أخرى إرشادية. يتم اختيار المنهجية المناسبة بالاستناد إلى خبرة المصمم و خاصيات النظام المدروس. تُعرف المنهجيّة الدقيقة بإجرائها لتعداد منهجي لجميع حلول المشكل المدروس. ممّا ينتج عنه تضخّم الوقت المطلوب لحوسبة الخوارزميات الذي يتضاعف مع زيادة تعقيد المشكل المطروح مما قد يؤدي إلى انفجارات في الوقت. لعل نقاط قوة أساليب هذه المنهجية تتمثل في توليد حل أمثل دقيق و ضمان اكتمال حل المشكلة. إلا أنه نظرا للتعقيد المتزايد لمشاكل التقسيم يستحيل استعمال أساليب المنهجية الدقيقة التي لا تلائم سوى الأنظمة البسيطة دون غيرها و نذكر على سبيل المثال طريقة" Branch and Bound". نظرا لعدم ملاءمة المناهج الدقيقة للأنظمة المعقدة، يصبح لا بد من استعمال المنهجية الإرشادية التي تبحث عن حلول معقولة تكاد أن تكون المثلى. تتميز هذه المنهجية بكفاءتها في سرعة إيجاد حلول ملائمة للأنظمة المعقدة. كما تُعرف بفعاليتها حيث تُبرمج بخوارزميات بسيطة، قصيرة و سهلة التغيير. من بين المناهج التي تعتمد على المنهجية الإرشادية نذكر: "Steepest descent" و " Simulated Annealing" و "Tabou". يقع اختيار المنهج المناسب اعتمادا على خاصيات المشكل المدروس. تعتمد مرحلة البحث المقترحة في هذا المقال بالأساس على طريقة "Tabou" التي تتميز بمواصلة البحث عن حل ملائم حتى و إنّ تمّ العثور على حل قد يفي بالغرض. إضافة إلى أنّها تقبل حلولا قد لا تُحسّن الحل الحالي لغاية تفادي الوقوع في نهاية مبكرة لمرحلة البحث. يستند هذا الأسلوب على قائمة تمكّن من تخزين آخر حلول قد تمّ بحثها ممّا يساهم في تفادي الوقوع في مشكل التكرار أي العودة إلى بحث حلول قد تمّ المرور بها.

4.1 مراحل التحول من تصميم النظام إلى نموذج مولد الحلول

كما سبق الذكر، فإن مولد الحلول يستنبط الخاصيات المعتمدة أثناء مرحلة التقسيم من خلال تصميم النظام المدروس. مما يستوجب الإرتكاز على تقنية النمذجة الموجهة بالنماذج لغاية تحويل نموذج النظام إلى نموذج توليد حلول التقسيم الممكنة. نقدم في هذ الجزء مختلف قواعد التحول.

- **تحول مجموعة المهام البرمجية**

مجموعة المهام البرمجية و التي تم وصفها بـ« swSchedulabeResource » ستتحول إلى T.

- **تحول مجموعة أجهزة النظام**

مجموعة أجهزة النظام و المتمثلة في مجموعة الأجهزة الحسابية، مجموعة أجهزة الذاكرة، مجموعة وسائل الإتصال بين مختلف مكونات النظام و مولدات الطاقة سيقع تحويلها كالآتي:

- تحول الأجهزة الحسابية

كل جهاز حسابي مُمثل بفئة و موصوف بـ « hwProcessor » أو « hwASIC » سيقع تحويله إلى CR.

- تحول وسائل الإتصال

كل وسيلة إتصال بين مختلف مكونات النظام موصوفة بـ« hwBus » ستحوّل إلى BUS.

- تحول أجهزة الذاكرة

كل جهاز ذاكرة موصوف بـ« hwCache » أو « hwDMA » أو « hwRAM » سيتم تحويله إلى MEM.

- تحول مولد الطاقة

كل مولد طاقة موصوف بـ« hwSupport » سيتحول إلى BATT.

4.2 نموذج استكشاف الحلول

هو مولّد للحلول و يضمن للمصمم إيجاد الحلول المثلى الأقل تكلفة من بين مجموعة الحلول المطروحة. ينطلق البحث استنادا على تحول نموذج النظام الذي وقع تصميمه بالإعتماد على منهجيتي نمذجة و تحليل الأنظمة ذات الوقت الحقيقي و الهندسة الموجهة بالنماذج. يتميز مولد الحلول المقترح بإدماج المصمم في مرحلة التقسيم و الإستفادة من خبرته. و الأهم من ذلك أنه يعتمد على أساليب أبحاث العمليات لتوجيه مرحلة البحث عن الحل الأمثل. كما يتميز باستقلاليته عن أي تحليل للجدولة قد يقع على المدى البعيد. لعل الحل الأمثل المتحصل عليه يتلاءم مع شروط المصمم، إلا أنه قد لا يكون ذا جدولة ملائمة. و بالتالي سيخضع لنمذجته استنادا لمنهجية نمذجة تحليل الجدولة. كما سيقع تحويله في مرحلة موالية إلى نموذج ليتم بحثه من خلال جهاز تحليل الجدولة. في حالة عدم ملاءمة هذه الجدولة يوفر مولد الحلول إمكانية أخرى قد تكون ذات جدولة ملائمة و هكذا إلى حين الحصول على حلّ يتلاءم و شروط المصمم و يكون ذا جدولة مناسبة.

4.3 صياغة رياضية

إن عملية البحث عن الحل الأمثل هي عملية موجهة بالنماذج تعتمد على صياغة رياضية لنموذج توليد الحلول. و كما سبق الذكر، فإن هذا النموذج يستنبط خاصياته من خلال التصميم الموحد للنظام الذي تم إعداده بالاعتماد على نمذجة الموارد العامة. و بالتّالي، يتكون نموذج توليد الحلول من مجموعة المهام البرمجية و مجموعة أجزاء النظام و مختلف حلول التقسيم. تتكون مجموعة المهام البرمجية من مهام برمجية مختلفة تتفاعل فيما بينها عن طريق إرسال أو استقبال معلومة و لذلك سيقع تمثيلها كالأتي<App=<T, C_t حيث:

- $T= \{T_0, T_1, \ldots, T_n\}$: مجموعة المهام البرمجية حيث أن n هو عدد صحيح طبيعي أكبر من صفر.
- $C_t <== C_t : T \times T \rightarrow N$ هي مصفوفة تصور التفاعل بين مختلف المهام البرمجية حيث:
- $\forall T_i, T_j \in T, \forall i, j \in [0,n]$ and $NData_{ij} > 0$
  - $T_i <=> C_t(T_i,T_j) = N\ Data_{ij}$ تعتمد على T_j و $i \neq j$
  - $T_i <=> C_t(T_i, T_j) = 0$ مستقلة عن T_j و $i=j$

$C_t(T_i, T_j)=N\ Data_{ij}$ يعني T_i هي المهمة البرمجية المنتجة و T_j هي المهمة البرمجية المستهلكة خلال فترة زمنية محددة.

هندسة النظام تتضمن مجموعة من الأجهزة الحسابية، مجموعة من أجهزة الذاكرة، مجموعة من وسائل الإتصال بين مختلف مكونات النظام و مولدات للطاقة. وبالتالي سنُمثل كالاتي:

Arch=< CR, MEM, BATT, BUS>

- $CR= \{CR1, CR2, \ldots, CR_n\}$ هي مجموعة الأجهزة الحسابية حيث n هو عدد صحيح طبيعي أكبر من صفر.
- $MEM= \{memory_1, memory_2, \ldots, memory_n\}$ هي مجموعة أجهزة الذاكرة حيث n هو عدد صحيح طبيعي أكبر من صفر.
- $BATT= \{battery_1, battery_2, \ldots, battery_n\}$ هي مجموعة مولدات للطاقة حيث n هو عدد صحيح طبيعي أكبر من صفر.
- $BUS= \{Bus1, Bus2, \ldots, Bus_n\}$ هي مجموعة وسائل إتصال مختلف مكونات النظام حيث n هو عدد صحيح طبيعي أكبر من صفر.

أثناء مرحلة تقسيم النظام سيتم الاعتماد على منهج يضمن التوصل إلى الحل الأمثل الذي يتلاءم و شروط المصمم فيما يخص القيود الزمنية، التقليص من الاستهلاك الطاقي، الثمن و المساحة. يرتكز الأسلوب المعتمد على وظيفتين:

وظيفة احتساب التكلفة و وظيفة الهدف. في الواقع و كما ذكرنا سابقا، فإن القيود الزمنية ستتم دراستها اعتمادا على جهاز تحليل الجدولة الذي يعمل بكل استقلالية عن مولّد الحلول. أمّا بقية الشروط سيقع بحثها بالاعتماد على وظيفة احتساب التكلفة الموالية المقتبسة من مقال "الهادي تمر"[تمر و من معه,2006].

- **وظيفة احتساب التكلفة:**

$$cost(sol) = \alpha \times \frac{AreaCost - minArea}{minArea} + \frac{PwCost - minPw}{minPw}$$

حيث:

- AreaCost(Sol): تكلفة مساحة النظام
- PwCost(Sol): تكلفة الاستهلاك الطاقي للنظام
- minArea: التكلفة الأدنى لمساحة النظام
- minPw: التكلفة الأدنى للاستهلاك الطاقي للنظام
- α و β ضاربين بين صفر و واحد مختارين من طرف المصمم حيث 1=β+α

كما سبق الذكر فإن وظيفة احتساب التكلفة لا تمكّن من الحصول على الحلول المثلى إذ أنها لا تستند إلى أساليب المنهج العلمي أثناء البحث عن التقسيم المناسب. كما أنّه في حال عدم الحصول على حلّ يرضيه, قد يقوم المصمم بتغيير وجهة البحث لتقتصر إمكانيّات التجزئة على الأجهزة الحسابية المادية. الشّيء الذي قد يتسبب في التخلي عن حلول تجزئة على البرمجيّات قد تكون هي الأفضل, لذلك سنعتمد على وظيفة الهدف الموالية.

- **وظيفة الهدف:**

تميزت مرحلة التقسيم المقترحة في هذا المقال بالاعتماد على وظيفة الهدف الموالية و التي تمكّن من البحث عن الحل الأمثل الذي يوفر أقل التكاليف مقارنة بالحلول الممكنة:

$$MinZ = Cij \times Xij + Dij \times Xij$$

حيث$i ،j ،\in \{1, \ldots, n\} \times \{1, \ldots, m\}$

- C_{ij} هي كلفة تنفيذ المهمة البرمجية$_i$ على جهاز الحساب$_j$ و يقع احتسابها اعتمادا على وظيفة احتساب الكلفة.
- D_{ij} هي خاصية للمهمة البرمجية$_i$ في حال تمّ تنفيذها على جهاز الحساب$_j$. هذه الخاصية هي عبارة عن المدّة الزمنية اللاّزمة لتنفيذ المهمة البرمجية$_i$ على جهاز الحساب$_j$.
- $X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{إذا تم تنفيذ المهمة البرمجية}_i \text{ على جهاز الحساب}_j \\ 0 & \text{غير ذلك} \end{cases}$

4.4 تطبيق طريقة التقسيم التفاعلي المقترحة

كما سبق الذكر, فإنّ طريقة التقسيم المقترحة, المتميزة بالآلية و التفاعلية, تعتمد على المنهجية الإرشادية "Tabou". في الواقع, يرتكز كل أسلوب من أساليب أبحاث العمليات على هيكل الجوار الذي يشمل جميع حلول التجزئة الممكنة. يهدف مشكل التقسيم إلى اختيار تنفيذ للمهام البرمجية على أجزاء النظام الملائمة سواءا كانت هذه الأجزاء متمثلة في الأجهزة الحسابية المادية و/أو البرمجية. و بالتّالي فإن هيكل الجوار يمثل مجموعة حلول ذات تكاليف مختلفة و ناتجة عن التبديل بين مختلف المهام البرمجية و أجهزة الحساب. تعتمد مرحلة البحث عن الحل الامثل على تصفّح مختلف التكاليف الموافقة لحلول التجزئة الممكنة لغاية اختيار التقسيم الأفضل ذا التكلفة الأقلّ. لقد وقع إحتساب تكلفة كل حل تجزئة استنادا إلى وظيفة الهدف السابق ذكرها. و كما أشرنا, فإنّ منهجية التقسيم

المقترحة تتميّز بالتفاعلية حيث أنها تُتيح الفرصة لعودة الكفاءة إلى نموذج توليد الحلول مع كل حلّ تجزئة متولّد ذا جدولة غير ملائمة. و ذلك لغاية توليد حلاً آخر حتي التوصّل إلى التقسيم المناسب. ممّا يستوجب تحديث هيكل الجوارمع كل عودة كفاءة. و ذلك لإلغاء الحل المتولّد غير المناسب. فيما يلي نقدّم التعليمات البرمجية للمنهجية الإرشادية "Tabou". حيث أنّ: NT(s) هو هيكل الجوار المتمثل في مختلف حلول التجزئة.

Tabou procedure :
/*Research*/
1: repeat
2: { Generate n samples such as they don't contain tabou movement
3: Choose an arbitrary initial solution that minimizes the neighborhood such as F (init_solution) ∈ N_T(s)
4: Opt_solution=init_solution
5: if F(current_solution) < F(opt_solution) then
6: opt_solution=current_solution
7: update the current movement in tabou_matrix
8: } Until the satisfaction of the termination criteria

كما ذكرنا فإن كل عودة كفاءة تستوجب تحديث هيكل الجوار و تطبيق الوظيفة المخصصة للمنهجية الإرشادية "Tabou" من جديد حتى الحصول على الجدولة المناسبة. و يتم ذلك من خلال النداء المتكررلبعض الوظائف كالآتي ذكرها. فمثلا "new_Neighborhood " هي وظيفة تمكّن من تحديث هيكل الجوار و ذلك بحذف الحلول ذات الجدولة الغير مناسبة. إثر كلّ تحديث لهيكل الجوار تُنادى وظيفة المنهجية الإرشادية "Tabou" لتولّد حلاً آخر للتجزئة.

1 : new_ Neighborhood=update_ Neighborhood (vectOf_cost)
2 : solution=tabou (new_ Neighborhood)

4.5 نمذجة و تحليل جدولة الحل الأمثل المتولد عن نموذج استكشاف الحلول

قد يُنتج مولد الحلول حلاً ذا تكلفة مثاليّة يفي بمطالب المصمم، إلاّ أنه قد لا يكون ذا جدولة مناسبة. و لذلك وجبت نمذجة هذا الحل ليتم تحليله في مرحلة موالية من خلال أداة تحليل الجدولة. تتم مرحلة التصميم استنادا على منهجية نمذجة و تحليل الجدولة التي تمكن من وصف النموذج بدقة من خلال القوالب النمطية الملائمة. و يتم لاحقا تحويل التصميم المتحصل عليه إلى نموذج يعتمد عليه جهاز تحليل الجدولة. لقد اعتمدنا "شبكات بيتري" و بالتحديد "PTPN" [الحاج قاسم و من معه,2010]، [المحفوظي و من معه,2011] لتحليل الجدولة. إذا تمت المصادقة على جدولة الحل المتولّد فهو بذلك الحل المناسب لتقسيم النظام، غير ذلك يتم الإعتماد مجددا على مولد الحلول لتوليد حل آخر ذا التكلفة الأقل مقارنة ببقية الحلول و هو ما يُعرف بعودة الكفاءة و التي تُميز طريقة التقسيم الآلية و التفاعلية المقترحة في المقال.

4.6 دراسة تطبيقية

للمصادقة على المنهجية المقترحة في هذا المقال، قمنا بدراسة تطبيقية لنظام زمن حقيقي مدمج. يتمثل النظام المدروس في لاعب كرة قدم آلي [تمر و من معه, 2006]. يجب أن يكون الإنسان الآلي قادرا على التنقل بطريقة تلقائية و على التفاعل مع محيطه. يتكوّن النظام المدروس من المهام التالية:

- اقتناء و معالجة الصور و هو ما سيتم بحثه من خلال المهام البرمجية T2, T5, T7, T8, T9.
- التواصل مع مختلف اللاّعبين الآليين و الحَكم الآلي و هو ما تمّ تمثيله من خلال المهامّ البرمجية T1, T4, T6 , T12. حيث T12 المهمة البرمجية الخاصة ببعث المعلومة و T1, T4, T6 المهام الخاصة بالاستقبال.
- الجمع بين المعلومات من خلال المهمة البرمجية T10.
- احتساب مسافة المسار مُمثَّل بالمهمة البرمجية T11.
- مراقبة الموضع الحالي للاعب الآلي استنادا إلى الاحداثيات الجديدة للمسار التي سيقع احتسابها من خلال المهمة البرمجية T3.

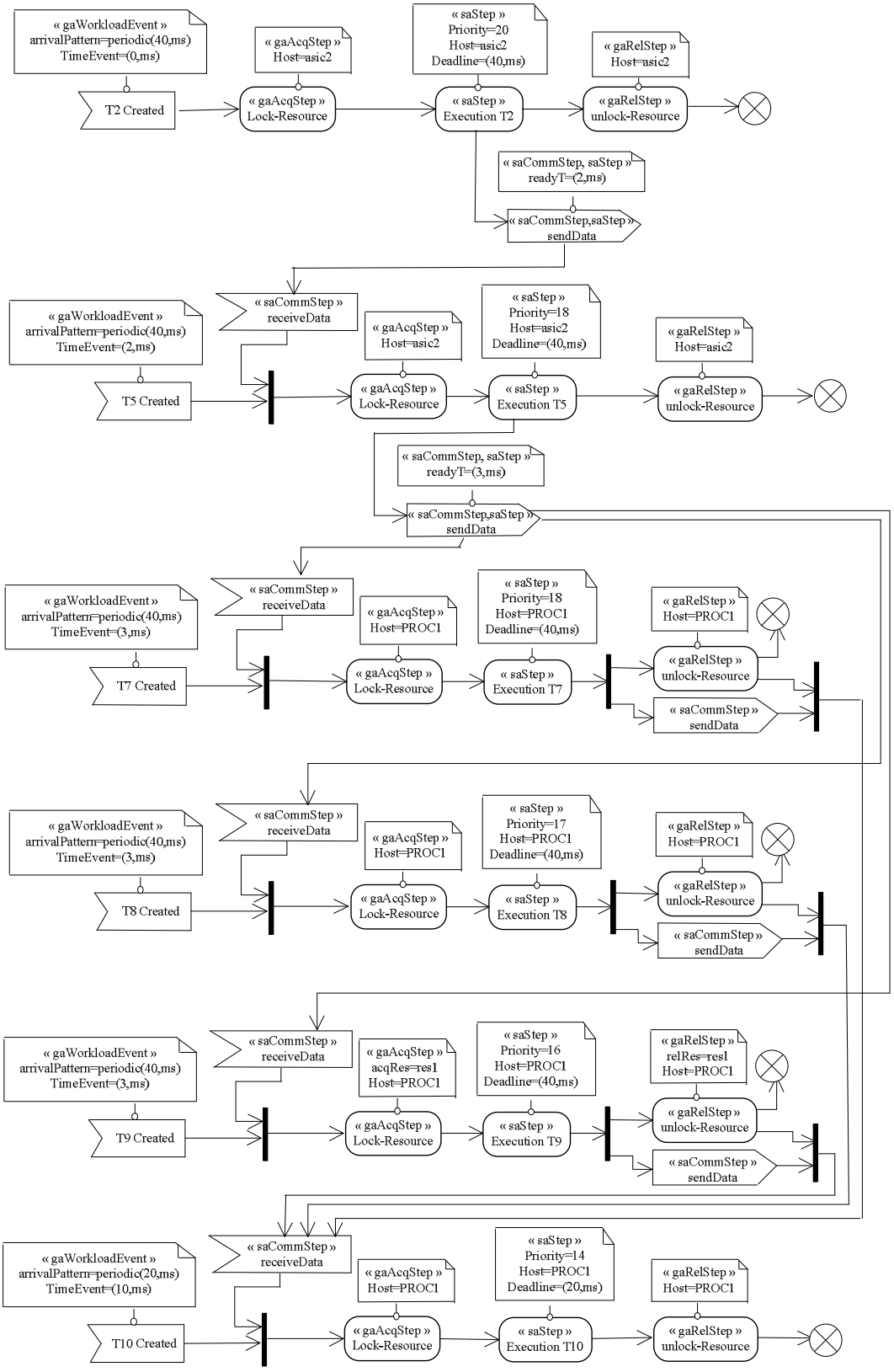
- توجيه الانسان الآلي من خلال المهمة البرمجية T13.

تتمثل مجموعة أجزاء النظام في: جهاز حسابي برمجي يحمل إسم « LEON » وقد مثّلناه بـ« PROC1 », وسيلة إتصال« AMBA » بين مختلف مكونات النظام البرمجية و المادية، ثلاثة أجهزة حسابية مادية من نوع « ASIC », أجهزة الذاكرة و مولد للطاقة.

تمت نمذجة النظام بالاعتماد على منهجية نمذجة و تحليل الأنظمة كما يبين الشكل2. في الواقع توجد عدة حلول للتقسيم كما أشرنا سابقا. و بتطبيق مختلف تحوّلات النموذج التي سبق ذكرها و استنادا إلى مولّد حلول معتمد على المنهجية الارشادية « TABOU » تمّ التوصل إلى حل التجزئة الموالي:

[SW1-1, HW2-2، SW3-1, SW4-1, HW5-2, SW6-1, SW7-1, SW8-1, SW9-1, SW10-1, SW11-1, SW12-1, SW13-1].

قُدِّرت كلفة هذا الحل بـ0.10752 و هي الكلفة الأقلّ بين كافّة الحلول الممكنة. و كما أشرنا سابقا فإنّ كل حلّ متولّد يجب أن يَمرّ بمرحلة تحليل جدولته. و لذلك يقع الاعتماد على ملفّ نمذجة تحليل الجدولة لتصميم الحلّ المتولّد. و في مرحلة موالية يقع تحويل النموذج المتحصل عليه إلى شبكات بيتري ليتمّ تحليل جدولته. نهتمّ في هذا المقال فقط بمرحلتي النمذجة و التقسيم. و لكننا سنقدم من خلال الشكل3 جزءا من نموذج تحليل الجدولة الذي وقع تصميمه استنادا إلى ملفّ نمذجة تحليل الجدولة. يبيّن هذا الرسم الامكانيات المقترحة لتنفيذ المهام االبرمجية T7, T5, T2 T10, T9, T8. كما يُظهر مدى الارتباط بينها.



الشّكل3. جزء من نموذج تحليل الجدولة

أشارت أداة تحليل الجدولة أنّ جدولة الحل المقترح غير مناسبة بسبب التقسيم SW12-1. مما استوجب عودة الكفاءة لتوليد حلّ آخر فكان الحل الموالي:

[SW1-1, HW2-3, SW3-1, SW4-1, HW5-2, SW6-1, SW7-1, SW8-1, SW9-1, SW10-1, SW11-1, HW12-2, HW13-1].

أقنع هذا الحل المصمم حيث أن تكلفته مناسبة و هي 0.10752 إضافة إلى أن أداة تحليل الجدولة صادقت على أنه ذو جدولة مجدية.

4.7 مخطط تلخيصي

تمحورت هذه المقالة بالخصوص حول مشكل تقسيم الأنظمة المعقدة ذات الوقت الحقيقي. و لقد إهتمت بعض الأعمال بتقديم تصميم عالي المستوى للأنظمة المعقدة. إلا أنها اقترحت تقسيما كلاسيكيا يُعرف بالآلية، مما قد يؤدي إلى الحصول على نتائج خاطئة أو لا تفي بحاجيات المصمم باعتبارها لا تدرجه في مرحلة التقسيم لتقييم مدى أهمية الحل المولّد. إضافة إلى أنها غير مستقلة عن مرحلة تحليل الجدولة، حيث ترتبط بجهاز تحليل الجدولة المعتمد. اهتمت بعض الأبحاث الأخرى بتقديم تقسيم مبني على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج. إلاّ أن هذا الأخير يدويّ أو شبه آلي يعتمد بالأساس على خبرة المصمم، مما قد يسبب مشاكل إذا كانت معرفته محدودة. ولئن اقترح "ياسين الحاج قاسم" في مقالته [الحاج قاسم و من معه, جوان 2010]تقسيما آليا و تفاعليا موجها بالنماذج، إلا أنه لم يعتمد على أسلوب علمي للبحث عن الحل الأمثل ذا التكلفة الأقل. و من هذا المنطلق، اقترحنا طريقة تقسيم آلية وتفاعلية تُدرج خبرة المصمم لتقييم الحل المتحصل عليه. تعتمد المنهجية المقترحة على مُولّد للحلول يرتكز على طرق أبحاث العمليات و بالتحديد المنهجية الإرشادية "Tabou" و يعمل باستقلالية تامة عن جهاز تحليل الجدولة.

5 الخاتمة

اهتممنا في هذ المقال بتنمية الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي. فاعتمدنا على منهجيات عالية المستوى لتوجيه مرحلتي نمذجتها و تقسيمها. استندت الطريقة المقترحة في جميع مراحلها على تقنيات الهندسة الموجهة بالنماذج. فقدّمت في مرحلة أولى تصميما اعتمد على منهجية نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي. و في مرحلة ثانية، تقسيما للنظام بأقل التكاليف بالاعتماد على مولّد حلول ارتكز على المنهجية الإرشادية "Tabou". تميّزت طريقة التقسيم المقترحة بالآلية و التفاعلية معتمدة لذلك على طرق أبحاث العمليات. كما تميّزت باستقلاليتها عن أي تحليل للجدولة قد يقع على المدى البعيد.

المراجع

[أو م ج, 2008]:
OMG Object Management Group. ***A UML Profile for MARTE: Modeling and Analysis of Real-Time Embedded systems***. Beta 2, ptc/2008-06-09. Object Management Groups, June 2008.

[الحاج قاسم و من معه, جوان2010]:
Yessine Hadj Kacem, Adel Mahfoudhi, Walid Karamti, and Mohamed Abid. ***Using model driven engineering and uml/marte for hw/sw partitioning***. International Journal of Discrete Event Control Systems (IJDECS), 1(1): 57-67, 2010.

[الحاج قاسم و من معه,2010]:
Yessine Hadj Kacem, Adel Mahfoudhi, and Mohamed Abid. ***A petri net extension for schedulability analysis of real time embedded systems***. In The 16th International

Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, PDPTA'10, pages 304-314, 2010.

[الحاج قاسم و من معه, ماي 2010]:
Yessine Hadj Kacem, Adel Mahfoudhi, Hedi Tmar, and Mohamed Abid. ***From uml/marte to rtdt: A model driven based method for scheduling analysis and hw/sw partitioning***. In Eight ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications AICCSA, pages 1-7. IEEE Computer Society, May 16-19, 2010.

[المحفوظي و من معه,2011] :
Adel Mahfoudhi, Yessine Hadj Kacem, Walid Karamti, and Mohamed Abid. ***Compositional specification of real time embedded systems by priority time petri nets***. The Journal of Supercomputing, pages 1-26, 2011.

[أولانير و من معه, 2009]:
Denis Aulagnier, Ali Koudri, Stéphane Lecomte, Philippe Soulard, Joel Champeau, Jorgiano Vidal, Gilles Perrouin, and Pierre Leray. ***SoC/SoPC development using MDD and MARTE profile***. In Model Driven Engineering for Distributed Real-Time Embedded Systems. Hermes, 2009.

[تمر و من معه,2006]:
Hedi Tmar, Jean-Philippe Diguet, Abdenour Azzedine, Mohamed Abid, and Jean Luc Philippe. ***RTDT: A static qos manager, rt scheduling, hw/sw partitioning cad tool***. Microelectronics Journal, 37(11): 1208-1219, 2006.

[شا و من معه, 2004]:

Lui Sha, Tarek Abdelzaher, Karl-Erik Arzen, Anton Cervin, Theodore Baker, Alan Burns, Giorgio Buttazzo, Marco Caccamo, John Lehoczky, and Aloysious K. Mok, (2004). ***Real Time Scheduling Theory: A Historical Perspective, Real-Time Systems.*** Journal, 28(2/3), 101-155.

[شميدت,2006]:
Douglas C. Schmidt. ***Model-driven engineering***. IEEE Computer, 39(2), February 2006.

[غاماتي و من معه, 2008]:
Abdoulaye Gamatié, Sébastien Le Beux, Eric Piel, Anne Etien, Rabie Ben Atitallah, Philippe Marquet, and Jean-Luc Dekeyser. ***A model Driven Design Framework for High Performance Embedded Systems***. Research Report RR-6614, INRIA, 2008.

[فانميربيك و من معه, 2008]:

G. Vanmeerbeeck, P. Schaumont, S. Vernalde, M. Engels, and I. Bolsens, (2001). ***Hardware/Software Partitioning of Embedded System in Ocapi-xl, Hardware/Software Co-Design***. International Workshop on, 0:30, 2001.

[مورا و من معه, 2008]:
Marcello Mura, Luis Gabriel Murillo, and Mauro Prevostini. ***Model-based Design Space Exploration for RTES with SysML and MARTE***. In FDL, pages 203-208, 2008.

[موريلّو و من معه, 2009]:
Luis Gabriel Murillo, Marcello Mura, and Mauro Prevostini. ***Semi-Automated Hw/Sw Co-design for Embedded Systems: from MARTE Models to SystemC Simulators***. In FDL, 2009.

[مارسيو و من معه,2007]:
Marcio F.da S. Olivera, Aduardo W. Briao, Francisco A. Nascimento, and Flavio R.Wagner. ***Model Driven Engineering for MPSoC Design Space Exploration***. In SBCCI 07: Proceeding of the 20th annual conference on Integrated circuits and systems design, pages 81-86, New York, NY, USA, 2007. ACM.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: A Model based method for interactive HW/SW partitionning

Abstract. Recently, the complexity of Real Time Embedded Systems has increased. So that, their modelisation, partitioning and scheduling analysis is becoming more and more painful. Perhaps this development meets the constraints required by the user, but it makes the designer's job more difficult. From this standpoint, many researchs have resorted to the use of Model Driven Engineering (MDE) through the stages of modeling, partitioning and Scheduling Analysis. Although some research has followed this methodology, it provided manual partitioning methods relying on the designer's expertise. Other works has proposed automatic partitioning approach which excludes completely the designer's experience. In addition, these researchs have proposed a partitioning depending on the scheduling analysis tool. In this context, this article focuses on an automatic and interactive partitioning way characterized by its independence of the scheduling analysis tool. In all its stages, our methodology is based on the MDE.

Keywords: RTES, Modeling, partitioning, MDE, MARTE, DSE

Methodology	منهجية
Design	تصميم
Model-driven/Model-oriented	موجه بالنماذج
Partitioning	تقسيم/ تجزئة
SW/HW Partitioning	تقسيم البرمجيات و المعدّات
Software Engineering	هندسة البرمجيات
Modeling	نمذجة

co-design	تصميم موحد
High level approaches	مناهج عالية المستوى
Real Time Embedded Systems (RTES)	الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي/ أنظمة الزمن الحقيقي المدمجة
Model Driven Engineering (MDE)	الهندسة الموجهة بالنماذج
Graphical Array Specification for Parallel and Distributed Computing (GASPARD)	مواصفة بيانية لنظم الحوسبة المتوازية والموزعة
Unified Modeling Language (UML)	لغة التصميم الموحدة
Non-Functional Properties (NFP)	الخصائص غير الوظيفية
Modeling and Analysis of Real Time Embedded systems (MARTE)	نمذجة و تحليل الأنظمة المدمجة ذات الوقت الحقيقي
Modeling and specialization of Platform and Components MDA (MoPCoM)	نمذجة و تخصص البرنامج و مكونات الهندسة الموجّهة بالنماذج
System On Chip (SOC)	الأنظمة المدمجة في الشرائح الإلكترونية
Design Space Exploration (DSE)	نموذج إستكشاف الحلول
General Resource Modeling (GRM)	نمذجة الموارد العامة
Schedulability Analysis Modeling (SAM)	نمذجة تحليل الجدولة
Systems Modeling Language (SysML)	لغات نمذجة الأنظمة
Real Time Design Trotter (RTDT)	أداة زمن حقيقي للتقسيم الآلي
Code	التعليمات البرمجية
Partitioning approach	منهج تقسيمي
Generative engineering	الهندسة التوليدية
Engineering languages	لغات الهندسة
A high level of abstraction	مستوى تجريدي عال
Code generation	إنشاء التعليمات البرمجية
Scheduling analysis	تحليل الجدولة
Unified model	تصميم موحّد
Stereotypes	القوالب النمطية
Software	البرمجيّات

Hardware	معدّات
Portability	قابلّية
Maintenance	صيانة
Development	تنمية
Solutions generator	مولّد حلول
Computer applications	تطبيقات الكمبيوتر
Model	نموذج
Metamodel	نموذج أعلى
model instance	نموذج مثيل
Models transformation	تحوّلات النماذج
Theoretical framework	الإطار النظري
Specification	تفصيل
Scheduling	جدولة/ برمجة
Model domain	مجال النمذجة
Analysis domain	مجال التحليل
Quantitative properties	الخصائص الكمية
Qualitative properties	الخصائص النوعية
Behavioral specifications	المواصفات السلوكية
Self-acting/Automatic	ذاتي الفعل/ آلي
Execution time	وقت التنفيذ
Operational research	أبحاث العمليات
Conceptual models	نماذج مفاهيمية
Complex systems	الأنظمة المعقدة
Exact approach	منهجية دقيقة
Heuristic approach	منهجية إرشادية
Partition generator	توليد حلول التقسيم
Feedback	عودة الكفاءة
Schedulability analysis Tool	أداة تحليل الجدولة

Optimal	الأمثل
Software tasks/ thread	المهام البرمجية
Mathematical formalization	صياغة رياضية
Application	مجموعة المهام البرمجية
Architecture	مجموعة أجزاء النظام
Implantation	حلول التقسيم
Semi-automated	شبه آلي
Matrix	مصفوفة
Producer	منتج
Consumer	مستهلك
Computing resources	أجهزة حسابية
System memory	ذاكرة النظام
Class diagram	رسمة الفئة
Class	قسم/فئة
Temporal constraints	القيود الزمنية
Objective function	وظيفة الهدف
Pareto-Points	نقاط الباريتو
Mapping	تحول
Manual	يدويّ
Interactive	تفاعلي
Neighborhood structure	هيكل الجوار
Profile	ملفّ
List	قائمة
Permutation	تبديل
Package	حزمة
PetriNet	شبكات بيتري
Hardware parts of the system	أجزاء النظام المادية

Software parts of the system	أجزاء النظام البرمجية
Hardware computing resources	أجهزة حسابيّة مادية
Software computing resources	أجهزة حسابيّة برمجية