

Dynamic and Static Power Reduction in Wireless Sensor Node

Dr. Khawla Hamwi *
Yara Almaghraqony **

(Received 5 / 5 / 2023. Accepted 9 / 8 / 2023)

□ ABSTRACT □

Wireless Sensor Networks are used in different fields, Despite the many advantages of WSN, they are described as resource constrained networks, as the sensor nodes are batteries-powered (internal constant voltage sources) and subject to a set of constraints imposed by memory, limited processing capacity and available bandwidth, this imposed a set of challenges on WSN's design. Energy efficiency is one of the critical issues to extend lifetime of the nodes. In this paper, a model for power consumption management in wireless sensor node was proposed based on integration of DPM (Dynamic Power Management) technology for dynamic power management with PG (Power Gating) technology for static power management. Then, we studied and analyzed the mathematical model of the proposed sensor node and extracted new mathematical relationships. Finally, we verified the efficiency of the proposed technique using MATLAB. We relied on energy consumption and lifetime of the sensor node as the main parameters to evaluate the performance. Our model reduces up to 84.09% of power consumed, and increases the lifetime more than 6 times in the reference model.

Keywords: wireless sensor networks, WSN, wireless sensor node, dynamic power, static power, power gating, power consumption, lifetime.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate Student, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. yara.almaghraqony@gmail.com

تخفيض استهلاك الطاقة الديناميكية والسائنة في عقدة الحساس اللاسلكي

د. خولة حموي *

يارا المغرقوني **

(تاريخ الإيداع 5 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 9 / 8 / 2023)

□ ملخص □

تستخدم شبكات الحساسات اللاسلكية في مجالات مختلفة، وبالرغم من المزايا الكثيرة التي تتمتع بها هذه الشبكات إلا أنها توصف بأنها شبكات ذات موارد محدودة، حيث تتغذى عقد الحساسات على البطاريات (منابع جهد داخلية مستمرة)، كما أنها خاضعة لقيود تفرضها الذاكرة، سعة المعالجة المحدودة وعرض الحزمة المتاح، وهذا ما فرض مجموعة من التحديات على تصميم هذه الشبكات. تعد كفاءة استخدام الطاقة إحدى القضايا الحرجة لإطالة عمر العقد. تم في هذا البحث اقتراح نموذج لإدارة الطاقة المستهلكة في عقدة حساس لاسلكي وذلك اعتماداً على دمج تقنية DPM (Dynamic Power Management) لإدارة الطاقة الديناميكية مع تقنية PG (Power Gating) لإدارة الطاقة السائنة، تم بعد ذلك دراسة النموذج الرياضي لعقدة الحساس المقترح وتحليله واستخراج العلاقات الرياضية الجديدة، وأخيراً قمنا بالتأكد من كفاءة التقنية المقترحة باستخدام MATLAB. اعتمدنا على استهلاك الطاقة وعمر العقدة كبارامترات رئيسية لتقييم الأداء، يقلل نموذجنا المقترح الطاقة المستهلكة بنسبة تصل إلى 84.09%، ويزيد عمر العقدة أكثر من 6 أضعاف العمر في النموذج المرجعي.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، عقدة الحساس اللاسلكي، الطاقة الديناميكية، الطاقة السائنة، بوابات الطاقة، استهلاك الطاقة، زمن الحياة.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* مدرس- قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-

سورية. yara.almaghraqony@gmail.com

مقدمة:

تعرف شبكة الحساسات اللاسلكية (WSN) Wireless Sensor Network بأنها شبكة مكونة من مجموعة من العقد الحساسة، المنتشرة في وسط ما تتحسس البيئة دون الحاجة لتواجد الإنسان في مكان وجود الظاهرة وتنتقل البيانات لاسلكياً بشكل رزم عبر الشبكة عن طريق قفزات حيث يمكن استخدامها محلياً ونقلها إلى مركز معالجة البيانات لتخزينها وتحليلها والاستفادة منها أو تتصل مع شبكات أخرى مثل الإنترنت. تتميز هذه الشبكة بانخفاض تكلفتها وسهولة نشرها وقدرتها على الاتصال بدون بنية تحتية وبشكل آني [1]. مع تطور تكنولوجيا الاتصالات والتقنيات الالكترونية ظهرت أجيال جديدة من شبكات الحساسات اللاسلكية مثل (شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الأرض Underground WSN [2]، شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء Underwater WSN [3]، شبكات الحساسات اللاسلكية الداعمة للوسائط المتعددة WMSN [4]، شبكات حساسات الجسم اللاسلكية WBSN [5]، مما يجعلها خياراً جذاباً للعديد من التطبيقات والتي تقسم بشكل أساسي إلى نوعين [6]:

1. تطبيقات مراقبة:

وتشمل التطبيقات المتعلقة بمراقبة بارامترات وسط ما للتحليل والإشراف والتحكم الدقيق في تشغيل النظام في الوقت الفعلي، على سبيل المثال تطبيقات المراقبة البيئية كالكشف عن الحرائق والزلازل، ومراقبة تلوث المياه كما في حالة التسرب النفطي من ناقلات النفط أو التلوث الناجم عن دخان المصانع، وتطبيقات المراقبة الصحية مثل مراقبة البارامترات الحيوية للمرضى مثل ضغط الدم، درجة الحرارة، عدد نبضات القلب، ونسبة السكر في الدم، يتم جمع البيانات من أجهزة الحساسات الحيوية المختلفة وإرسالها بانتظام إلى الطبيب المعني للكشف عن حالة الطوارئ وتوفير العلاج اللازم. أما في الصناعة فتستخدم هذه الشبكات في مراقبة جودة الإنتاج من خلال ضبط الكميات المستخدمة في صناعة منتج ما باستخدام حساسات خاصة، وفي المجال الزراعي يمكن استخدامها في مراقبة درجة الملوحة والرطوبة وإدارة أنظمة الري ومراقبة مكونات التربة بغية معرفة المزروعات المناسبة لها.

2. تطبيقات ملاحقة:

تشمل التطبيقات المتعلقة بملاحقة أهداف معينة، مثل تتبع حركة المرور بما يخدم التحكم بالإشارات المرورية لتخفيف الازدحام في منطقة ما في وقت الذروة، وتتبع الأهداف العسكرية ومراقبة تحرك الآليات الحربية في أرض المعركة، أما في مجال الطبيعة تستخدم هذه الشبكات في مراقبة حركة الحيوانات مثل مراقبة عمليات هجرتها. إلا أن مشكلة الطاقة المحدودة تعد القضية الحاسمة في شبكات WSN، حيث إن عقدة الحساس مقيدة بحجم محدود وقد تُنشر في بيئات يتعذر الوصول إليها، وبما أن تغذية العقد عن طريق حصاد الطاقة المتجددة من البيئة تفرض تكلفة وحجماً إضافياً، لذلك غالباً ما يكون منبع الطاقة الذي تزود به العقد هو بطاريات وذلك لأنها تُكسب الشبكة مرونة أكثر من حيث النشر في البيئات المختلفة، ومما سبق فإن الهدف الرئيس هو إطالة عمر البطاريات وبالتالي عمر العقدة وتقليل استهلاك الطاقة قدر الإمكان [7][6].

أهمية البحث وأهدافه:

تملك عقد الحساسات اللاسلكية (Sensor Nodes) SNs مصدر طاقة محدود، وقد تعمل في بيئات يتعذر الوصول إليها حيث يكون استبدال البطارية أو إعادة شحنها عملية غير ممكنة أو ذات كلفة عالية (مثلاً حساسات الجسم والتي

يتم زراعتها داخل جسم الإنسان عن طريق عملية جراحية، أو الحساسات المدفونة تحت الأرض، وفي السلك الحديدية، وجدوان المباني أو في الطرق أو في الهياكل الداخلية للجسور)، وبالتالي إطالة عمر البطاريات وتقليل استهلاك الطاقة قدر الإمكان هو موضوع ذو أهمية كبيرة، حيث يؤدي تحسين استهلاك الطاقة لعقدة الحساس اللاسلكي إلى إطالة عمر شبكة الحساسات اللاسلكية، كما يصبح من الممكن تحرير جزء من الطاقة لإضافة المزيد من الوظائف مثل إضافة حساسات لقياس بارامترات أخرى إلى نفس المنصة، بالإضافة إلى ذلك ونظراً لأن حجم البطارية أمر بالغ الأهمية في تحديد حجم الأنظمة التي تعمل بالبطاريات، فإن تخفيض استهلاك الطاقة يمكن أن يتيح استخدام بطاريات أصغر تؤدي إلى تقليل حجم العقد وهو الأمر المطلوب في العديد من التطبيقات، كما أن تقليل استهلاك الطاقة للعقدة قد يجعل الطاقة المنخفضة الناتجة عن بعض أنظمة حصاد الطاقة كافية لتشغيل عقد WSN.

تحتل الطاقة الديناميكية الجزء الأكبر من الطاقة المستهلكة على مستوى عقدة الحساس، وبما أن نسبة الطاقة المطلوبة للإرسال إلى الطاقة المطلوبة للمعالجة أكبر من واحد، اهتم معظم الباحثين بتخفيض الطاقة المستهلكة للاتصالات من خلال بروتوكولات فعالة وخوارزميات توجيه الخ... ولكن المهمة المطلوب تنفيذها في معالجة بيانات العقد تحتاج وقت أطول بكثير من الوقت المطلوب للإرسال وتزداد الطاقة المستهلكة في معالجة البيانات حالياً بشكل كبير، وخاصةً عندما تكون الـ SNS حساسات وسائط متعددة (صورة، صوت، فيديو)، هذا يعني أن طاقة معالجة البيانات هي عامل مهم ويجب تقليلها على مستوى عقدة الحساس. بينما تستهلك العقد في حالة السكون جزءاً صغيراً فقط من الطاقة ولكن إذا لم يتم أخذها في عين الاعتبار يمكن أن تلعب دوراً حاسماً في عمر البطارية حيث تقضي عقد الحساسات معظم وقتها في حالة السكون في بعض التطبيقات وبالتالي تقليل الطاقة الساكنة يمتلك أهمية كبيرة أيضاً.

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية دمج تقنيات تخفيض استهلاك الطاقة الديناميكية والساكنة من خلال نموذج يقترح تخفيض الطاقة المستهلكة لمعالجة البيانات غير المهمة أو المستقرة ضمن مجال معين من القيم، وتخفيض تيار التسريب في حالة السكون لعقد الحساسات اللاسلكية في شبكات WSN لإطالة عمر العقد وتفادي حدوث الانقطاعات في الوصلات بموت بعض العقد وانتهاء مصدر طاقتها.

طرئق البحث ومواده:

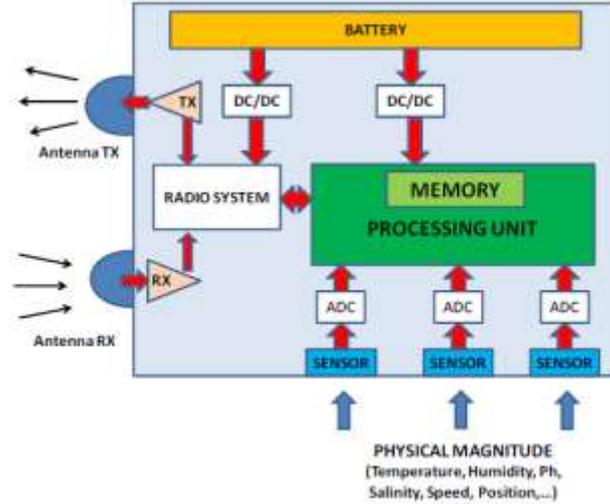
- دراسة طرق تخفيض الطاقة الديناميكية والساكنة.
- تطبيق تقنية إدارة الطاقة الديناميكية (DPM) لتقليل الطاقة المستهلكة في وحدة المعالجة.
- دمج التقنية السابقة مع تقنية بوابات الطاقة (PG) لتخفيض استهلاك الطاقة الناتج عن تيار التسريب في حالة سكون العقدة.
- دراسة النموذج الرياضي وإجراء المحاكاة باستخدام Matlab Code، استخدمنا في عملنا هذا النسخة Matlab R2010a.

قمنا بعملية النمذجة اعتماداً على معادلات تقوم بحساب بارامترات الطاقة المستهلكة وعمر العقدة، كما اعتمدنا على قياسات iMote2 التجريبية وهي عبارة عن منصة عقدة حساس لاسلكي تحتاج إلى وصلها بلوحة الطاقة والحساسات المختلفة [8]. تتكون من المعالج PXA271 والذي يستخدم كمعالج رئيسي في بحثنا، وجهاز الإرسال والاستقبال CC2420 (2.4GH)، والذي يعتمد على المعيار 802.15.4. تم ربط المتحكم الصغري PIC10F200 بالمنصة

السابقة ليعمل كمعالج مسبق منخفض الطاقة، كما تم استخدام MAX17223 كمفتاح إلكتروني عند تطبيق تقنية إدارة الطاقة الساكنة. تُغذى العقدة المدروسة باستخدام بطاريات AAA (no.3).

1- البنية التفصيلية لعقدة الحساس اللاسلكي:

تتضمن شبكة الحساسات اللاسلكية عدداً من عقد الحساسات اللاسلكية التي تجمع المعلومات من البيئة الخارجية باستخدام وحدة التحسس، ثم تعالج المعلومات وتتبادل الرسائل مع العقد المجاورة الأخرى في الشبكة، وبالتالي المكونات الأساسية لعقدة الحساس هي وحدة الحساس، وحدة المعالجة، وجهاز الإرسال والاستقبال، ومصدر الطاقة [10][9]، كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1): بنية عقدة الحساس اللاسلكي

1-1 وحدة الحساس:

وهي عبارة عن جهاز يستخدم لتحويل المقدار الفيزيائي أو الكيميائي إلى إشارة كهربائية مفيدة. الحساسات نوعين حساسات فعالة (Active sensors) وهي الحساسات التي تحتاج إلى مصدر خارجي للطاقة، والحساسات السلبية (Passive sensors) التي لا تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي. كما تصنف الحساسات حسب إشارة الخرج إلى حساسات تشابهية وحساسات رقمية. هناك أسباب مختلفة لاستهلاك الطاقة في وحدات التحسس مثل تحويل الإشارة الفيزيائية إلى إشارة كهربائية، ملازمة الإشارة، والتحويل التشابهي الرقمي. وبالتالي، يعد الحساس أيضاً أحد الأجهزة الموجودة في عقدة WSN المسؤولة عن استهلاك الطاقة [10].

1-2 وحدة المعالجة:

تلعب وحدة المعالجة دوراً مهماً في تنسيق جميع أنشطة عقدة الحساس، حيث تستخدم للتحكم في وحدة التحسس وجمع البيانات منها، تُغذى وحدة المعالجة بالإشارة الرقمية من المحول التشابهي الرقمي (ADC (Analog to Digital Converter)، ثم تُعالج هذه البيانات، وتُسلّم إلى وحدة الاتصال ليتم إرسالها لاسلكياً. يعد اختيار وحدة المعالجة أمراً مهماً حيث يجب أن تحقق مستوى أداء معين يختلف حسب التطبيق وتُراعي القيود المفروضة لاستهلاك الطاقة. في معظم عقد WSN، تكون وحدة المعالجة الأساسية غالباً متحكم صغري (Micro Controller Unite) MCU كما يمكن استخدام بدائل أخرى: معالج أغراض عامة صغري General purpose microprocessor، معالجات الإشارة الرقمية (Digital Signal Processors) DSP، كما يمكن استخدام الدارات المتكاملة متخصصة التطبيق ASIC

(Application Specific Integrated Circuit)، أو مصفوفة البوابات المنطقية القابلة للبرمجة (FPGA Field Programmable Gate Array). لكل خيار من الخيارات السابقة مزاياه وعيوبه بالإضافة إلى قدرات ومستويات أداء مختلفة وتتيح للمصمم اختيار ما يناسب التطبيق المستخدم.

تعتبر المتحكمات الصغيرة هي الخيار الأنسب لعقدة الحساس نظراً لمرونتها في الاتصال بالأجهزة الأخرى، استهلاكها للطاقة أقل، امتلاكها ذاكرة مدمجة ومحول تشابهي رقمي مدمج، وبالتالي تكتفي غالباً بعقدة الحساس بها ولا تحتاج لذاكرة خارجية أو محول خارجي، كما يمكن لهذه الأجهزة الانتقال إلى حالة السكون بينما يكون جزء من وحدة التحكم نشطاً. تستهلك المعالجات الصغيرة للأغراض العامة الطاقة أكثر من المتحكم الصغير وكلما زادت الأجهزة الطرفية الملحقة كلما زاد استهلاك الطاقة لذلك فهي ليست خياراً مناسباً لعقدة الحساس. تعتبر معالجات الإشارات الرقمية مناسبة للاتصالات اللاسلكية ذات النطاق العريض، ولكن في شبكات الاستشعار اللاسلكية مهام معالجة الإشارات وإجراءات التعديل تكون أقل تعقيداً. تتميز الـ FPGA بالأداء العالي وقدرتها على إجراء عمليات حسابية عالية التعقيد، ولكن تكلفتها مرتفعة جداً مقارنةً بتكلفة MCU [11][9].

3-1 وحدة الإرسال والاستقبال:

يعتمد نظام الإرسال والاستقبال قصير المدى عادةً على معيار ZigBee / IEEE 802.15.4 وهو مناسب للاتصالات منخفضة الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية [1]. تتضمن هذه الوحدة عمليات مختلفة تؤثر على استهلاك الطاقة، مثل التعديل والترشيح وفك التعديل والتضخيم كما أن بعض البارامترات المهمة في هذه الوحدة مثل معدل نقل البيانات وقدرة الإرسال (التي تحدها مسافة الإرسال) ودورة العمل التشغيلية تؤثر على استهلاك الطاقة، حتى نوع التعديل المستخدم يعتبر عاملاً مهماً لأنه يحدد مقدار الطاقة الذي يتم استهلاكه للاتصال [12].

4-1 مصدر الطاقة:

قد يتم تزويد الطاقة لعقدة الحساس عن طريق حصاد الطاقة المتجددة من البيئة المحيطة بما في ذلك الطاقة الحرارية والميكانيكية والشمسية والصوتية وطاقة الرياح والأمواج، على الرغم من أن الطاقة التي يتم حصادها من البيئة قد تكون غير محدودة إلا أنها منخفضة غالباً وقد تفرض تكلفة إضافية على عقد الحساسات (مثلاً تكلفة إضافة خلايا شمسية) وبالتالي تؤدي إلى حجم إضافي لعقدة الحساس، لذلك غالباً ما يكون منبع الطاقة الذي تزود به العقد هو بطاريات وذلك لأنها تكسب الشبكة مرونة أكثر من حيث النشر للحساسات في البيئات المختلفة، و يُعد هذا النوع من مصادر الطاقة الأكثر استخداماً [7][1].

2- أنماط تشغيل عقدة الحساس:

1-2 عقدة الحساس المقادة بالحدث:

تتم إدارة وحدة التحسس في عقدة الحساس المقادة بالحدث بواسطة وحدة معالجة مسبقة منخفضة الطاقة تراقب وصول الحدث باستمرار (تراقب خرج وحدة التحسس)، ثم تقوم بإيقاظ وحدة المعالجة الرئيسية والتي تكون ذات استهلاك أعلى للطاقة فقط إذا تم تحقيق شروط معينة، حيث يقوم المعالج الرئيس بإجراء الحسابات اللازمة ونقل البيانات عبر جهاز الإرسال والاستقبال إذا لزم الأمر [13].

2-2 عقدة الحساس المقادة بالزمن:

يتم توصيل وحدة التحسس مباشرة بالمعالج الرئيس في عقدة الحساس المقادة بالزمن، يتبع المعالج في هذا النمط جدولاً زمنياً يتناوب فيه بين وضع من أوضاع الطاقة المنخفضة (مثل وضع السكون sleep، أو السكون العميق deep-

sleep، أو إيقاف التشغيل (shutdown)، ووضع النشاط full-power mode، والذي يتم فيه مراقبة وحدة التحسس ومعالج الأحداث الواسلة ونقل البيانات عبر جهاز الإرسال والاستقبال إذا لزم الأمر. بمعنى آخر، في هذا النمط تكون العقدة نائمة معظم الوقت، وتستيقظ بشكل دوري لأخذ عينات من خرج وحدة التحسس [13]. ومن هنا نستنتج أن نموذج عقدة الحساس المقادة بالحدث أكثر مرونة وكفاءة، بينما في نموذج عقدة الحساس المقادة بالزمن يمكن التحكم باستهلاك الطاقة من خلال تعديل مخطط النوم والاستيقاظ ولكن استهلاك الطاقة المنخفض يقابله احتمال ضياع أحداث مهمة قد تصل في الفترة الزمنية التي تكون فيها العقدة نائمة، وهذا ما دفعنا إلى اعتماد نمط العقدة المقادة بالحدث في بحثنا.

3- تصنيف تقنيات كفاءة الطاقة:

يوجد تقنيات مختلفة لتحقيق كفاءة استهلاك الطاقة نذكر منها معيار الجهد والتردد الديناميكي (DVFS Dynamic Voltage and Frequency Scaling)، إدارة الطاقة الديناميكية DPM، Duty-Cycle، Power gating، ويمكن تصنيف تقنيات توفير الطاقة وفق عدة مستويات [14]، سوف نعتمد على تصنيفها وفق المستوى الديناميكي والساكن كما يلي:

1-3 تقنيات توفير الطاقة على المستوى الديناميكي Dynamic Level:

1-1-3 معيار الجهد والتردد الديناميكي DVFS:

يتم ضبط كل من الجهد والتردد للمعالجات وفقاً لنوع المعالج، قيود الوقت والموارد، متطلبات التطبيق، ومستوى الأداء المتوقع، وبالتالي تقليل الطاقة الديناميكية التي تستهلكها وحدة المعالجة المركزية وفقاً لمتطلبات أداء الجهاز، حيث يعني الانخفاض الخطي في الجهد V انخفاضاً تربيعياً في الطاقة التي يستهلكها المكون وفق المعادلة (1)، وانخفاض التردد F يعني انخفاض في سرعة تبديل الترانزستورات المكونة لـ CMOS، مما يؤدي حتماً إلى انخفاض في الطاقة المستهلكة.

$$P_{total} = I_{Leakage} \cdot V + C_{eff} V^2 f \quad (1) \quad [12]$$

حيث:

$I_{Leakage}$: تيار التسريب.

V : جهد التغذية.

C_{eff} : السعة الطفيلية وقيمتها تعتمد على جودة عملية التصنيع.

f : تردد التشغيل.

هناك طريقتان لتنفيذ DVFS، في الطريقة الأولى: تقوم وحدة المعالجة بحساب المهمة بأقصى سرعة ممكنة ثم تعود إلى وضع السكون بأسرع وقت، حيث يمكن زيادة سرعة المهمة الحسابية إما عن طريق زيادة الجهد أو التردد ضمن الحدود المحددة في ورقة البيانات datasheet في حالة الحمل العالي. في الطريقة الثانية: يمكن تقليل سرعة المهمة الحسابية كلما كان هناك حمل أقل أو في حالة عدم وجود مهمة أو نشاط حسابي بمعنى آخر، حساب المهمة المعينة بالسرعة الدنيا المطلوبة لإنهائها قبل الموعد النهائي deadline، أي إطالة وقت معالجة المهام وتقليل استهلاك الطاقة عن طريق تقليل تردد وحدة المعالجة المركزية لحالة النشاط، وعند استخدامه بتردد منخفض يمكن للمعالج أن يعمل بجهد تغذية أقل [12]، وهذه الطريقة أكثر كفاءة من حيث الطاقة من التنفيذ في أسرع وقت ممكن ثم التباطؤ في الوقت المتبقي [15].

3-1-2 إدارة الطاقة الديناميكية DPM:

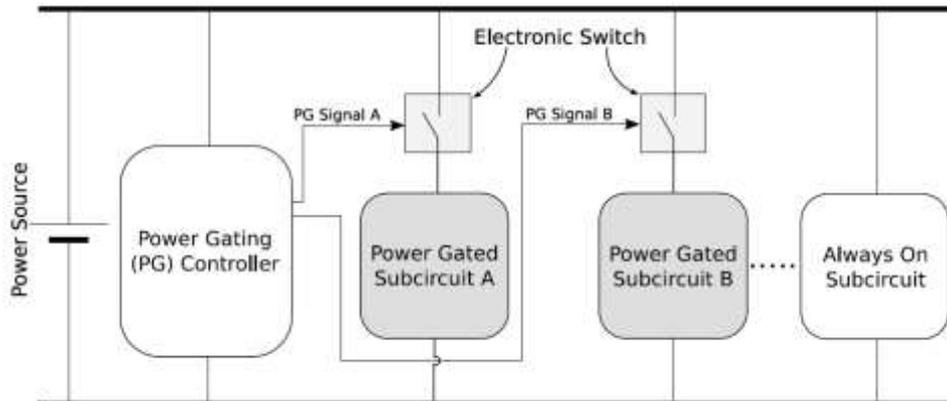
تعتمد هذه التقنية على أن الوحدات ليس من الضروري أن تكون في حالة نشاط بشكل مستمر، وإنما الانتقال إلى حالة السكون خلال فترات عدم الفعالية (وضع الخمول)، تبقى في هذه التقنية عقدة الحساس مُطفاة حتى وقوع الحدث (مثلاً عندما ينبغي عليها استقبال رزمة، أو باعتماد عتبة تحسس معينة)، حيث يمكن إيقاف تشغيل جهاز الإرسال والاستقبال خلال الفترات التي لا يتم فيها تبادل الرسائل. ومع ذلك، يجب التأكد من أن ربح الطاقة الذي يتم الحصول عليه لا يقل عن التكلفة الإضافية الناتجة عن إعادة تشغيل الوحدة، حيث يضيف الانتقال من حالة السكون إلى الحالة النشطة حملاً زائداً وتأخيراً إضافياً، مثلاً وقت الاستيقاظ المُستغرق للانتقال من وضع السكون إلى وضع النشاط أكبر من الوقت المُستغرق للانتقال من وضع الخمول إلى وضع النشاط، وبالتالي، هناك مفاضلة بين استهلاك الطاقة ووقت الاستيقاظ [14][16].

3-2 تقنيات توفير الطاقة على المستوى الساكن Static Level:**3-2-1 دورة العمل Duty cycle:**

تتناوب العقد في هذه التقنية بين فترات النشاط والنوم اعتماداً على نشاط الشبكة، حيث يتم إيقافهم بشكل دوري على فترات منتظمة تبعاً لجدولة معينة تستيقظ العقدة لفترة زمنية قصيرة ثم تعود إلى وضع السكون. يؤثر وضع الاستعداد (الخمول) بشكل كبير على استهلاك الطاقة كونه أقل بقليل فقط من وضع الإرسال أو الاستقبال. تسمح هذه التقنية لأجهزة التحسس بتوفير الطاقة، ويمكن تعديل فترات النوم وفق احتياجات التطبيق لإيجاد حل وسطي بين استهلاك الطاقة والتأخير [14].

3-2-2 Power gating:

أدى انخفاض أبعاد الترانزستورات وتطور الدارات المتكاملة إلى زيادة عدد الترانزستورات على الشريحة وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة تيار التسريب للدارة، كما يزداد تيار التسريب عند جهود العتبة المنخفضة. تعتمد تقنية بوابات الطاقة PG على تقليل استهلاك الطاقة عن طريق إيقاف التيار (فصل التيار تماماً) مؤقتاً وانتقائياً من الدارات الفرعية غير المستخدمة، هذا يسمح بتقليل تيار التسريب (Leakage current) أثناء حالة السكون. تحتوي هذه التقنية على وحدة تحكم تقوم بتوليد الإشارات المطلوبة لتعطيل الطاقة بشكل انتقائي من مختلف الدارات الفرعية باستخدام مفاتيح إلكترونية كما هو موضح في الشكل (2) [17].



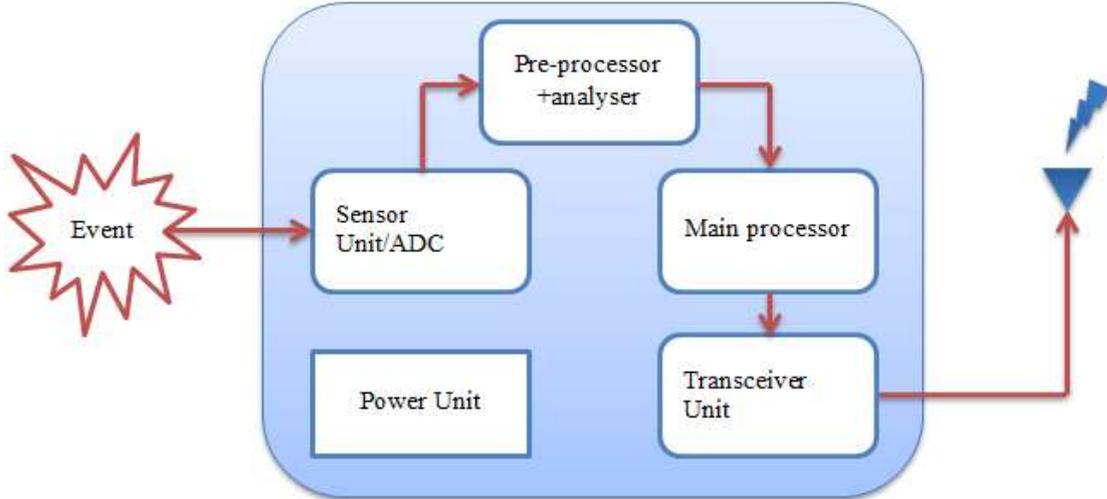
الشكل (2): مبدأ تنفيذ تقنية بوابات الاستطاعة

النتائج والمناقشة:

تم في هذا البحث دراسة نموذجين لعقدة حساس لاسلكية ثم إجراء مقارنة فيما بينهما وقد أخذنا بعين الاعتبار بارامترين أساسيين هما الطاقة المستهلكة، وعمر عقدة الحساس.

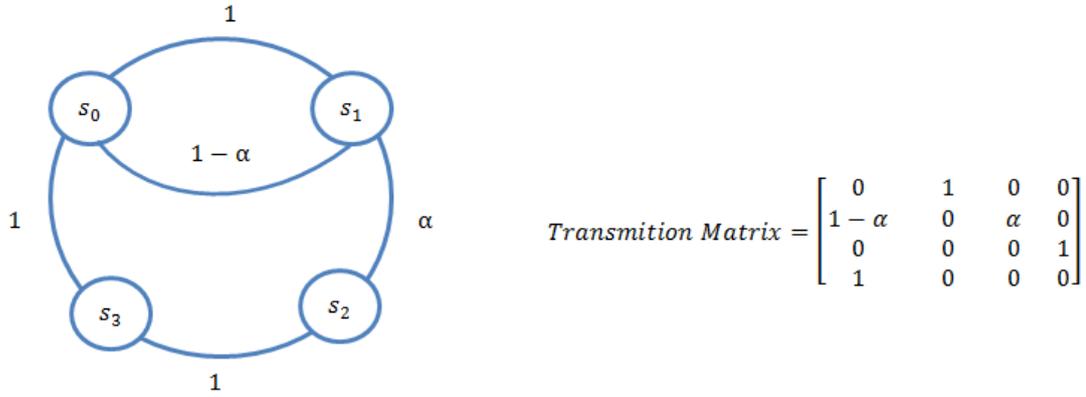
النموذج الأول:

عقدة حساس لاسلكية مقادة بالحدث تعتمد على تقنية DPM لإدارة الطاقة الديناميكية باستخدام محلل (analyser) كما في الشكل (3). يوظف المحلل وحدة المعالجة الرئيسية فقط عندما يتجاوز الفرق بين القيمة الواصلة إلى العقدة والقيمة السابقة لها عتبة معينة. اعتمد هذا النموذج على النموذج المقدم في الدراسة [18] والذي يمثل عقدة حساس لاسلكية مقادة بالحدث تعتمد على تقنية DPM لإدارة الطاقة الديناميكية باستخدام محلل بالإضافة إلى استخدام كاميرا موصولة مع عقدة الحساس في تطبيق مراقبة معين. قمنا بتعديل هذا النموذج وذلك بهدف تعميم استخدامه حيث احتفظنا بالمحلل لإدارة الطاقة الديناميكية وعدّلنا بعض القيم والبارامترات بالاعتماد على قيم تجريبية مقاسة سابقاً في الدراسة [13] وعلى أوراق البيانات datasheets للمكونات والعناصر التي سوف نستخدمها.



الشكل (3): نموذج لعقدة حساس مقادة بالحدث تعتمد على تقنية DPM لإدارة الطاقة الديناميكية

تم تمثيل العقدة بنموذج شبه ماركوف بأربع حالات (S_0, S_1, S_2, S_3) كما هو موضح في الشكل (4). خلال فترة المعالجة المسبقة والتحليل، تكون وحدة المعالجة المركزية في حالة سكون عميق. عند اكتشاف حدث ما، يقوم المعالج المسبق الممثل بالحالة (S_0) بتمرير الأحداث التي تم ترشيحها إلى المحلل الممثل بالحالة (S_1) باحتمال (1) ، يقوم المحلل بتحليل البيانات الواردة، وفي حال تجاوز التغيير في البيانات الواردة الحالية عن البيانات السابقة عتبة محددة مسبقاً، يقوم المحلل بإيقاظ المعالج الرئيس الممثل بالحالة (S_2) وترسل المعلومات إلى المعالج الرئيس باحتمال (α) . قد يقوم المعالج الرئيس بمزيد من عمليات المعالجة أو يستقبل ويعالج بيانات تحسس من حساسات أخرى متطورة بناءً على المعلومات الواردة من المحلل، ثم يقوم بتوجيه البيانات المعالجة عبر الاتصال اللاسلكي الممثل بالحالة (S_3) باحتمال (1) . احتمال الانتقال من المحلل إلى المعالج المسبق $(1 - \alpha)$ ، وهو احتمال عدم اكتشاف التغيير، وبالتالي لا حاجة لمعالجة الأحداث الواصلة وإرسالها (أي لا حاجة لإيقاظ المعالج الرئيس).



الشكل (4) نموذج شبه ماركوف بأربع حالات لتحسين إدارة الطاقة الديناميكية في عقدة الحساس المقادة بالحدث

يعمل نموذج هذا النظام على حالات الطاقة الأربعة $(P_{S_0}, P_{S_1}, P_{S_2}, P_{S_3})$ ، الموضحة في الجدول (1). للتبسيط، يُفترض أن الرقم "1" يمثل الحالة النشطة (حالة التشغيل full-power)، بينما الرقم "0" يمثل حالة إيقاف التشغيل وحالات الطاقة المنخفضة (سكون، خمول... الخ).

الجدول (1): حالات عمل النموذج الأول

Power Mode	Pre-processor	Analyser	Main processor	Radio
P_{S_0}	1	0	0	0
P_{S_1}	1	1	0	0
P_{S_2}	1	1	1	0
P_{S_3}	1	1	1	1

تعطى علاقة متوسط الطاقة الديناميكية المستهلكة عند اكتشاف حدث ما بالمعادلة التالية:

$$E_{ave(ref)} = T_a P_{S_1} + \alpha T_p P_{S_2} + \alpha T_t P_{S_3} + \alpha E_{12} + \alpha E_{23} \quad (2) \quad [18]$$

حيث:

E_{ave} : متوسط الطاقة الديناميكية المستهلكة عند اكتشاف حدث ما.

T_a : زمن التحليل.

T_p : زمن المعالجة.

T_t : زمن الإرسال.

P_{S_i} : الطاقة المستهلكة في الحالة S_i .

E_{ij} : كلفة الانتقال من الحالة S_i إلى الحالة S_j .

α : احتمال أن يتجاوز الفرق بين القيمة الواصلة والقيمة السابقة لها قيمة العتبة.

وتعطى علاقة متوسط الزمن المستهلك عند اكتشاف حدث ما بالمعادلة التالية:

$$T_{ave} = T_a + \alpha T_p + \alpha T_t \quad (3) \quad [18]$$

وبالتالي تعطى علاقة متوسط الاستطاعة المستهلكة في عقدة الحساس المقادة بالمعادلة التالية:

$$P_{total} = \frac{P_{S_0} + \lambda(E_{ave})}{1 + \lambda(T_{ave})} \quad (4) \quad [18]$$

حيث:

λ : معدل وصول الأحداث.

ويعطى متوسط عمر عقدة الحساس المقادة بالحدث بالمعادلة التالية:

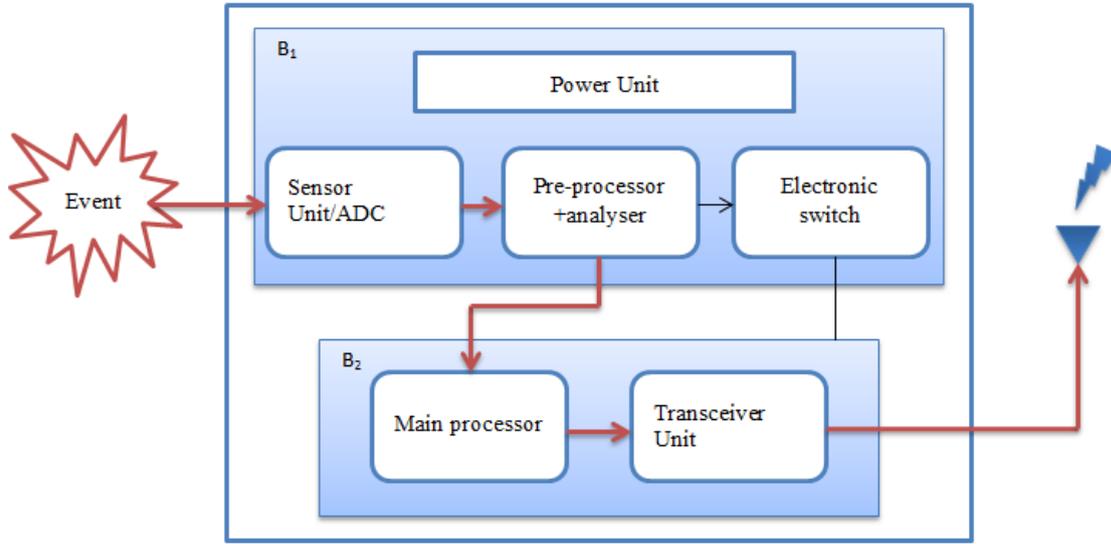
$$T_{lifetime} = \frac{(1+\lambda T_{ave})E_{resource}}{P_{s0} + \lambda E_{ave}} \quad (5) \quad [18]$$

حيث:

$E_{resource}$: طاقة البطارية.

النموذج الثاني:

وهو النموذج المقترح لإدارة الطاقة الديناميكية والسكونية معاً عن طريق دمج تقنية PG مع تقنية DPM المطبقة في النموذج السابق، فمما يتمثل النظام الجديد بالمخطط الصندوقي الموجود في [الشكل \(5\)](#).



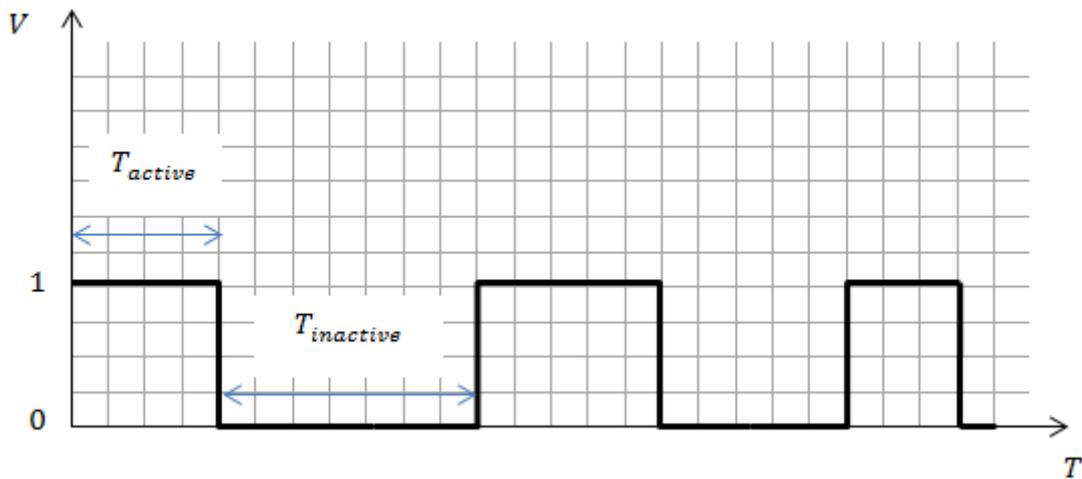
الشكل (5): النموذج المقترح لإدارة الطاقة الديناميكية والسكونية معاً

يتكون النموذج المقترح من لوحين يشكلان معاً عقدة لاسلكية تعمل بالبطارية، كما هو موضح في [الشكل \(5\)](#)، اللوحة الأولى (المشار إليها باسم B_1) هي لوحة التحسس وتغذية وإدارة الطاقة الديناميكية والسكونية لـ B_2 ، اللوحة الثانية (المشار إليها باسم B_2) تجمع وحدة MCU مع راديو Zigbee.

النموذج المقترح هو نموذج عام لعقدة الحساس وليس نموذج محدد لتطبيق ما، وبالتالي لم نأخذ طاقة أجهزة التحسس المرتبطة باللوحة B_1 في الاعتبار، أو أجهزة التحسس المنظورة (كاميرا، ميكروفون..) المرتبطة باللوحة B_2 حيث أنها تختلف باختلاف نوع الحساس المستخدم.

اعتبرنا في هذه الدراسة أن تطبيق شبكة الحساسات اللاسلكية مقاد بالحدث وبالتالي تكون العقدة نشطة فقط عندما يصل الحدث المطلوب إلى الدخل. وبخلاف ذلك، يقوم الحساس ومكونات ما قبل المعالج الرئيس بمراقبة وصول الحدث باستمرار عن طريق التحسس والترشيح. حيث لا تستطيع الحساسات توفير القيمة الدقيقة المقابلة للحدث التي نريدها، وبالتالي يتم أخذ مجال صغير من القيم القريبة، وهذا يتطلب مرشح ضيق الحزمة، ولكن إذا استخدمنا مرشح فسنكون هناك حاجة إلى مرشح مختلف للتطبيقات المختلفة، على سبيل المثال: يحتاج ترشيح الأحداث لحساس درجة الحرارة، حساس الصوت، حساس الرطوبة وما إلى ذلك، إلى قيم عتبة خاصة بكل حساس، وبالتالي أجهزة. بدلاً من

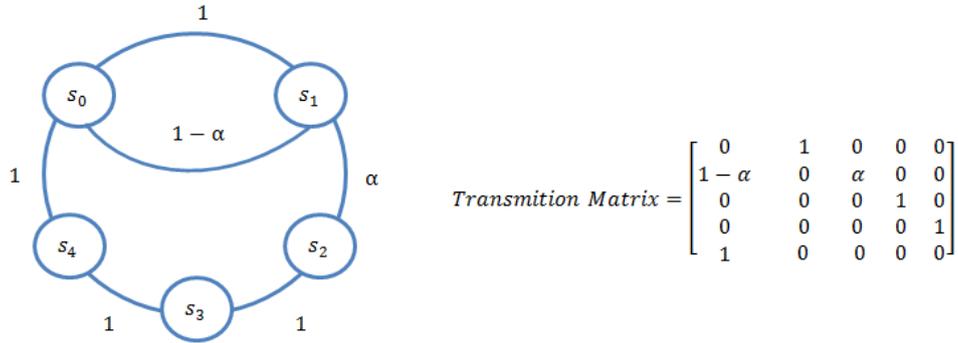
ذلك، استخدمنا معالج منخفض الطاقة والذي يعمل كمعالج مسبق، محلل، ومتحكم في تقنية بوابات الاستطاعة Power gating كما هو موضح في الشكل (5). وبالتالي يمكن إجراء الترشيح، كشف التغيير، التحكم في وصل وفصل الطاقة عن اللوحة B_1 ، والتحكم في معالجة وإرسال الأحداث المكررة (دون استخدام أي أجهزة إضافية). ينسق المحلل العمل بين الوحدات العاملة ما قبل المعالج الرئيس والمعالج الرئيس كما هو موضح في الشكل (5). يكتشف المحلل في هذا النموذج المقترح التغيير في القيمة المرشحة الحالية عن القيمة السابقة التي تم الحصول عليها وفي حال تجاوز عتبة معينة يتم إرسال نبضات التشغيل إلى المفتاح الإلكتروني والذي يصبح في حالة (ON)، وبالتالي يتم وصل الطاقة اللازمة لتشغيل المعالج الرئيس والراديو إلى اللوحة B_2 . بخلاف ذلك، يكون المفتاح الإلكتروني في حالة فصل (OFF)، ويتم قطع الطاقة عن اللوحة B_2 بالكامل، وبالتالي التغلب على تيارات التسريب في عقدة الحساس اللاسلكي. قمنا بتمثيل نبضات التشغيل المرسل من المعالج منخفض الطاقة إلى المفتاح الإلكتروني في النموذج الجديد المقترح في الشكل (6).



الشكل (6): الإشارة المرسل من المعالج منخفض الطاقة إلى المفتاح الإلكتروني

يقوم المعالج الرئيس بعد ذلك بمعالجة المعلومات وتوجيهها عبر وسط الاتصال اللاسلكي. ينتج عن ذلك تقليل عدد العمليات الحسابية والمعالجة المتكررة والإرسال المتكرر للأحداث المتماثلة وبالتالي توفير الطاقة الديناميكية، وتقليل تيارات التسريب في النظام والذي ينتج عنه توفير الطاقة الساكنة، لنحصل في النهاية على تحسين طاقة وعمر عقدة الحساس. قمنا بإنشاء النموذج الرياضي الجديد للعقدة المقترحة بالاعتماد على نموذج شبه ماركوف الرياضي، حيث مُثل النظام المقترح بخمس حالات (S_0, S_1, S_2, S_3, S_4) كما هو موضح في الشكل (7). خلال فترة المعالجة المسبقة والتحليل، يكون المفتاح الإلكتروني الممثل بالحالة (S_2) في حالة (OFF) وتكون الطاقة مفصولة بالكامل عن اللوحة B_2 ويكون المعالج الرئيس في حالة إيقاف تشغيل Shutdown. عند اكتشاف حدث ما، يقوم المعالج المسبق الممثل بالحالة (S_0) بتمرير الأحداث التي تم ترشيحها إلى المحلل الممثل بالحالة (S_1) باحتمال (1)، يقوم المحلل بتحليل البيانات الواردة، وفي حال اكتشاف التغيير في البيانات الواردة الحالية عن البيانات السابقة، يقوم بإرسال إشارة التشغيل الممثلة في الشكل (6) إلى المفتاح الإلكتروني، وبالتالي تعود الطاقة إلى اللوحة B_2 باحتمال (α). ويتم تشغيل المعالج الرئيس الممثل بالحالة (S_3) لاستقبال الأحداث الواصلة ومعالجتها، ثم يقوم بتوجيهها عبر الراديو الممثل بالحالة (S_4)

باحتمال (1). احتمال الانتقال من المحلل إلى المعالج المسبق $(1 - \alpha)$ ، وهو احتمال عدم اكتشاف التغيير، وبالتالي لا حاجة لمعالجة الأحداث الواصلة وإرسالها (أي لا حاجة لوصول الطاقة إلى اللوحة B₂).



الشكل (7): نموذج شبه ماركوف بخمس حالات لإدارة الطاقة الديناميكية والسكنة في عقدة الحساس المقادة بالحدث

قمنا بتمثيل طاقة عمل النظام الجديد بخمس حالات $(P_{S_0}, P_{S_1}, P_{S_2}, P_{S_3}, P_{S_4})$ ، الموضحة في الجدول (2).

الجدول (2): طاقة حالات عمل النموذج المقترح

Power Mode	Pre-processor	Analyser	Electronic switch	Main processor	Radio
P_{S_0}	1	0	0	0	0
P_{S_1}	1	1	0	0	0
P_{S_2}	1	1	1	0	0
P_{S_3}	1	1	1	1	0
P_{S_4}	1	1	1	1	1

قمنا بصياغة علاقة متوسط الطاقة الديناميكية المستهلكة عند اكتشاف حدث ما للنموذج الجديد المقترح بمعادلة جديدة مطوّرة عن المعادلة السابقة رقم (2) كما يلي:

$$E_{ave(prop)} = T_a P_{S_1} + \alpha T_p P_{S_3} + \alpha T_t P_{S_4} + \alpha E_{12} + \alpha E_{23} + \alpha E_{34} \quad (6)$$

حيث:

$$E_{12} = T_{on} \times P_{Sw-on} \quad (7)$$

T_{on} : الزمن اللازم للانتقال من الفصل إلى الوصل في المفتاح الإلكتروني.

P_{Sw-on} : الطاقة التي يستهلكها المفتاح الإلكتروني في حالة الوصل.

ويُعطي متوسط الزمن المستهلك عند اكتشاف حدث ما ومتوسط الاستطاعة المستهلكة وعمر عقدة الحساس المقترحة بالمعادلات (3)، (4)، (5) على التوالي. ومن المهم ملاحظة أن المعادلة رقم (3) لم تتغير في النموذج الجديد حيث T_{on} من مرتبة النانو ثانية وبالتالي يمكن إهمالها وبالتالي لم يضيف النموذج الجديد تأخير مذكور.

الفرضيات المعتمدة في نمذجة العقد:

اعتمدنا في نمذجة العقد على الفرضيات التالية:

- 1- عقد الحساسات المدروسة هي عقد مقادة بالحدث.
- 2- تم إنشاء النماذج باستخدام نموذج شبه ماركوف Semi-Markov.
- 3- يتبع وصول الحدث توزيع بواسون بمتوسط λ (event/hour).

- 4- يتبع الزمن الفاصل بين الأحداث (بين كل وصول والآخر) نمط التوزيع الأسي بمتوسط $1/\lambda$.
 5- الزمن اللازم لمرحلة المعالجة والاتصال صغير مقارنة بزمن وصول الأحداث.

بارامترات المحاكاة:

يمثل النموذج الأول المرجعي المقدم في الدراسة [18] عقدة حساس لاسلكية مقادة بالحدث تعتمد على تقنية DPM كما ذكرنا سابقاً تستخدم هذه العقدة كاميرا وحساس حركة في تطبيق مراقبة معين. قمنا بتعديل بارامترات هذا النموذج وذلك بهدف تعميم استخدامه ودراسة التقنية الجديدة المقترحة بشكل منفصل عن أي تطبيق. وبالتالي عدلنا بعض القيم المقدمة في هذا النموذج بالاعتماد على قيم تجريبية مقاسة سابقاً في الدراسة [13] وعلى أوراق البيانات datasheets للمكونات والعناصر التي سوف نستخدمها كما هو موضح في الجدول (3).

الجدول (3): البارامترات المستخدمة للنموذج المرجعي بالاعتماد على البارامترات المقاسة في الدراسة [13]

البارامتر	النموذج المرجعي
T_a	0.05sec
T_p	2sec
T_t	0.175sec
P_{S_0}	2.14mW
P_{S_1}	2.14mW
P_{S_2}	194.052mW
P_{S_3}	271.34mW
E_{12}	48.63mJ
E_{23}	6.63μJ
$E_{resource}$	18.63KJ

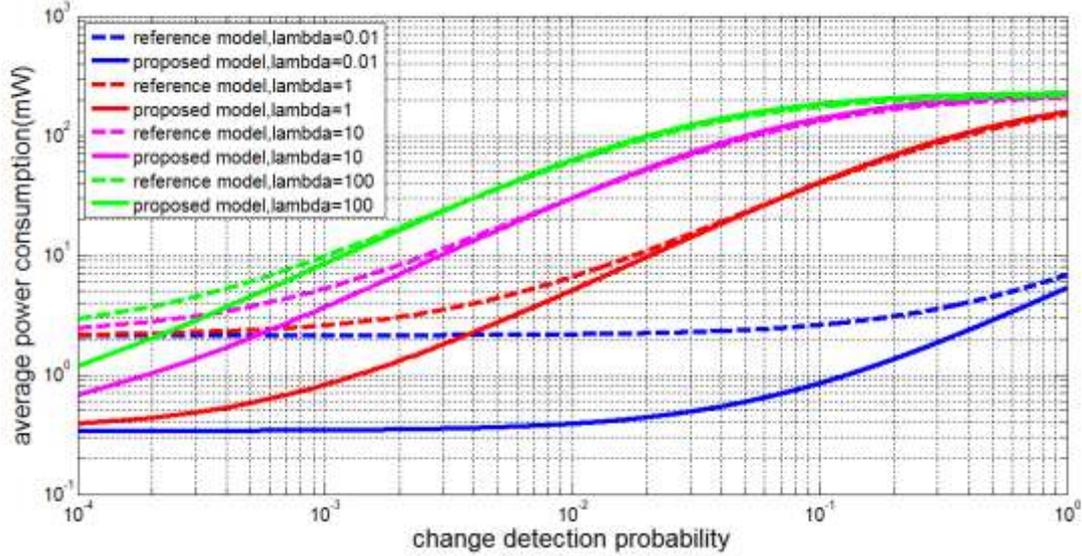
بينما يوضح الجدول (4) بارامترات المحاكاة للنموذج الجديد المقترح. قمنا بمقارنة وتحليل نتائج النموذج المقترح مع النموذج المرجعي، مع اعتبار متوسط معدل وصول الحدث (λ)، واحتمال اكتشاف التغيير (α)، متغيرات مستقلة. بينما يُنظر إلى متوسط استهلاك الطاقة وعمر عقدة الحساس المقادة بالحدث، والطاقة المستهلكة الساكنة والطاقة المستهلكة الديناميكية على أنها متغيرات غير مستقلة.

الجدول (4): البارامترات المستخدمة في النموذج المقترح

البارامتر	النموذج المقترح
T_a	0.05sec
T_p	2sec
T_t	0.175sec
T_{on}	300nsec
P_{Sw-on}	2.25μW
P_{S_0}	0.34mW
P_{S_1}	0.34mW
P_{S_2}	2.25μW
P_{S_3}	194.052mW
P_{S_4}	271.34mW
E_{12}	0.675pj
E_{23}	75.27mJ
E_{34}	6.63μJ
$E_{resource}$	18.63KJ

تحليل استهلاك الطاقة:

قمنا بتحليل استهلاك الطاقة للنموذجين السابقين من خلال فرض قيم معينة لمتوسط معدل وصول الحدث (λ)، مع تغير احتمال اكتشاف التغيير (α) من 0 إلى 1 وحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (8).



الشكل (8): المنحنيات البيانية لاستهلاك الطاقة كتابع لـ α

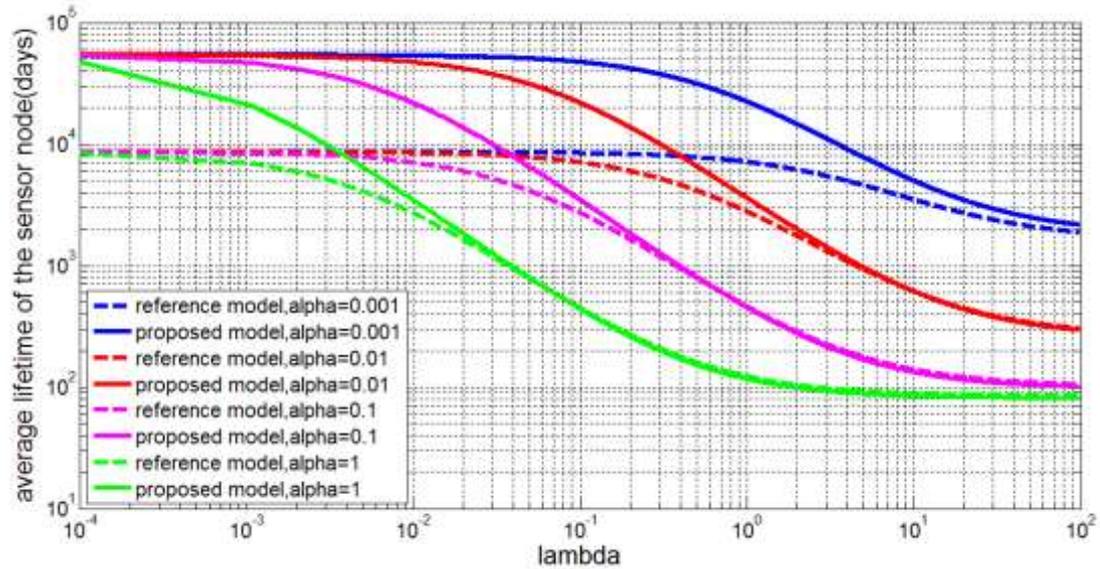
نلاحظ من الشكل (8) أن النموذج المقترح يؤدي إلى تخفيض الطاقة المستهلكة بنسبة تصل إلى 84.09% عندما $\lambda = 0.01$ ، وإلى 82.22% عندما $\lambda = 1$ ، وإلى 72.37% عندما $\lambda = 10$ ، وإلى 59.57% عندما $\lambda = 100$. وهذا يثبت فعالية فكرة دمج تقنيات تخفيض استهلاك الطاقة والسكنة والديناميكية في عقدة الحساس.

تختلف قيمة (λ) ضمن مجال واسع وتعتمد على التطبيق. بالنسبة لتطبيقات الملاحظة تكون (λ) كبيرة جداً، بينما في تطبيقات المراقبة بشكل عام يكون معدل وصول الحدث أبطأ. تُظهر المنحنيات السابقة تأثير معدل وصول الأحداث (λ) على استهلاك الطاقة حيث نلاحظ أن الطاقة المستهلكة في عقدة الحساس المقادة بالحدث، تزداد بازدياد (λ).

كما يظهر الشكل (8) تأثير احتمال اكتشاف التغيير (α) على استهلاك الطاقة للنموذجين، حيث تتغير قيمة (α) من 0 إلى 1 وتتناسب عكساً مع العتبة المفروضة للتغيير. نلاحظ أن الفرق في الاستهلاك للنموذجين ينخفض عند القيم الكبيرة لـ (α)، وبالتالي في التطبيقات التي يتردد فيها بفواصل زمنية صغيرة جداً ورود فرق بين القيمة الواصلة والقيمة السابقة يتجاوز العتبة المحددة وبنفس الوقت يكون فيها معدل وصول الحدث سريع كتطبيقات الملاحظة يمكننا تجاوز تقنية الـ power gating في هذه التطبيقات وذلك لتقليل الكلفة الإضافية الناتجة عن إدارة الطاقة والسكنة والانتقال المتكرر من وضع إيقاف التشغيل إلى وضع النشاط بدلاً من الانتقال من وضع السكون إلى وضع النشاط.

تحليل عمر العقدة:

قمنا بمحاكاة عمر عقدة الحساس وتحليله من خلال تغيير (λ) وعند قيمة ثابتة لـ (α). حيث تمت مقارنة عمر عقدة الحساس للنموذج المرجعي وعمر عقدة الحساس المقترحة عندما يتغير معدل وصول الأحداث (λ) من 0.0001 إلى 100، وعند قيم مختلفة لـ (α) كما هو موضح في الشكل (9).

الشكل (9): المنحنيات البيانية لزمن حياة عقدة الحساس كتابع لـ λ .

نلاحظ من الشكل (9) أن عمر عقدة الحساس المقادة بالحدث يزداد بانخفاض (λ) بشكل عام، وأدى دمج تقنيات تخفيض استهلاك الطاقة الديناميكية والسكونة معاً إلى تحسين عمر عقد الحساس، حيث تصل نسبة تحسين العمر في النموذج المقترح إلى أكثر من 6 أضعاف العمر في النموذج المرجعي، وتتعلق نسب التحسين بقيم (α) و (λ) معاً، بينما عند القيم الأكبر لـ (λ) ومع تزايد احتمال اكتشاف التغيير يتقارب زمن حياة النموذج المقترح مع النموذج المقترح وبالتالي يمكن الاستغناء عن تخفيض الطاقة على المستويين معاً في هذه التطبيقات وذلك لتخفيض الكلفة الإضافية الناتجة كما ذكرنا سابقاً.

ونلاحظ أنه حتى في حالة $\alpha = 1$ يبقى عمر النموذج المقترح أفضل من النموذج المرجعي بنسبة تصل إلى 82.13% وذلك عندما يكون معدل وصول الأحداث بطيء، وعند قيمة معينة $\lambda = 0.067$ يبدأ المنحني البياني لعمر النموذج المقترح بالانطباق على المنحني الآخر.

الاستنتاجات والتوصيات:

إن التصميم المثالي لعقدة الحساس يتم تقييمه اعتماداً على التطبيق الذي ستعمل فيه الشبكة، و مما سبق وجدنا أن النموذج المقترح هو الأفضل بشكل عام ومناسب للتطبيقات التي يكون فيها احتمال وصول قيم متشابهة كبير أو معدل وصول الحدث بطيء نسبياً، حيث أن القيم الصغيرة لـ (λ) تتوافق مع فاصل زمني أكبر بين كل حدث وحدث وبالتالي زمن سكون أكبر، ويظهر عندها تأثير الطاقة الساكنة على العقدة، فيكون النموذج المقترح لإدارة الطاقة الديناميكية والسكونة أكثر جدوى عند مقارنته مع النموذج المرجعي لإدارة الطاقة الديناميكية، بينما تضيف إدارة الطاقة الساكنة حمل وتكلفة في التطبيقات التي تسيطر فيها الطاقة الديناميكية على العقدة. وبالتالي بشكل عام يمكن استخدام النموذج المقترح مع تطبيقات المراقبة (المراقبة البيئية، المراقبة الصحية، ... الخ).

بالرغم من أن الهدف الأساسي هو إدارة الطاقة على مستوى عقدة الحساس إلا أن دراستنا أدت إلى تخفيض الطاقة على مستوى الشبكة عن طريق تقليل كمية البيانات المنقولة عبر الشبكة. وبالتالي فإن دمج تقنيتنا

المقترحة لإدارة الطاقة على مستوى عقدة الحساس مع تقنيات إدارة الطاقة على مستوى الشبكة من بروتوكولات توجيه موفرة للطاقة وخوارزميات ضغط وتجميع البيانات وما إلى ذلك، يمكن أن يؤدي إلى تحسين أداء شبكة الحساسات اللاسلكية من حيث الطاقة المستهلكة وعمر العقد.

قائمة بالاختصارات:

WSN(Wireless Sensor Networks)	شبكات الحساسات اللاسلكية
DPM (Dynamic Power Management)	إدارة الطاقة الديناميكية
PG (Power Gating)	بوابات الطاقة
WMSN (Wireless Multimedia Sensor Networks)	شبكات الحساسات اللاسلكية الداعمة للوسائط المتعددة
WBSN (Wireless Body Sensor Networks)	شبكات حساسات الجسم اللاسلكية
SNs (Sensor Nodes)	عقد الحساسات
ADC (Analog to Digital Converter)	المحول التناظري الرقمي
MCU (Micro Controller Unite)	وحدة المتحكم الصغري
DSP (Digital Signal Processors)	معالجات الإشارة الرقمية
ASIC (Application Specific Integrated Circuit)	الدارات المتكاملة متخصصة التطبيق
FPGA (Field Programmable Gate Array)	مصفوفة البوابات المنطقية القابلة للبرمجة
DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling)	معيار الجهد والتردد الديناميكي

References:

- [1] GUPTA, S. K . and SINHA, P. , "*Overview of Wireless Sensor Network: A Survey*", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol.(3), Issue (1), 2014.
- [2] Muduli, L. ; Mishra, D. P. and Jana, P. K . , "*Application of Wireless Sensor Network for Environmental Monitoring in Underground Coal mines: A systematic Review*", Journal of Network and Computer Applications, Volume (106), 15 March 2018, 48-67.
- [3] Erdem, H. E. and Gungor, V. C. , "*Analyzing lifetime of energy harvesting underwater wireless sensor nodes*", International Journal of communication systems, Vol.(33), Issue (3), 2020.
- [4] Chiwariro, R. and N.,T. , "*Quality of service aware routing protocols in wireless multimedia sensor networks: survey*", International Journal of Information Technology, Vol.(14), No.(2), 2022, 789 - 800 .
- [5] Alkubaily, M. , "*Study the Effectiveness of Patient's Monitoring in Hospitals Using Wireless Body Sensor Networks*", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (42), No. (3), 2020.
- [6] FEI, Z. ; LI, B. ; YANG, S. ; XING, C. ; CHEN, H. and HANZO, L. , "*A Survey of Multi-Objective Optimization in Wireless Sensor Networks: Metrics, Algorithms and Open Problems*", IEEE Communications Surveys & Tutorials Journal, Volume (19), Issue (1), 2017, 550 - 586.
- [7] QI, N. ; DAI, K. ; YI, F. ; WANG, X. ; YOU, Z. and ZHAO, J. , "*An Adaptive Energy Management Strategy to Extend Battery Lifetime of Solar Powered Wireless Sensor Nodes*", IEEE Access Journal , Volume (7), 2019, 88289 - 88300.
- [8] https://wsn.cse.wustl.edu/images/e/e3/Imote2_Datasheet.pdf (last visited 4/5/2023).

- [9] ALI, H. ; PANNEERSELVAM, J. and XUE, Y. , "*Multiprocessor System-on-Chips based Wireless Sensor Network Energy Optimization*", University of Derby, Derby United Kingdom, October 2021.
- [10] SENDRA, S. ; LLORET, J. ; GARCIA, M. and TOLEDO, J. F. , "*Power saving and energy optimization techniques for Wireless Sensor Networks*", Journal Of Communications, Vol. (6), No. (6), September 2011, 439-459.
- [11] NGUYEN, P. D. and KIM, L. , "*Sensor System: A Survey of Sensor Type, Ad Hoc Network Topology and Energy Harvesting Techniques*", MDPI. Electronics Journal, Volume(10), Issue (2), 2021.
- [12] SHARMA, R. and SOHI, B. S. , "*The Impact of Dynamic Scaling on Energy Consumption at Node Level in Wireless Sensor Networks*", International Journal of Applied Engineering Research, Volume (13), Number (1), 2018, 175-188 .
- [13] JUNG, D. ; TEIXEIRA, T. and SAVVIDES, A. , "*Sensor Node Lifetime Analysis: Models and Tools*", ACM Transactions on Sensor Networks, Vol. (5), No. (1), 2009, 1–33.
- [14] CHÉOUR, R. ; BAKLOUTI, M. and ABID, M. ; "*Recent Trends of FPGA Used for Low-Power Wireless Sensor Network*", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. (34), Issue (10), October 2019, 28 - 38.
- [15] CHÉOUR, R. ; JMAL, M. W. and ABID, M. , "*New combined method for low energy consumption in Wireless Sensor Network applications*", SIMULATION Journal: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, Vol. (94), Issue (10), 2018.
- [16] DARGIE, W. , "*Dynamic Power Management in Wireless Sensor Networks: State-of-the-Art*", IEEE Sensors Journal, Vol. (12), No. (5), 2012, 1518 - 1528.
- [17] PAWAR, N. ; BOURGEOU, T. and CHAOUCHI, H. , "*Power Gating and Its Application in Wake-Up Radio*", International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks, Lyon, France, 2020.
- [18] Pughat, A. and Sharma, V. , "*Performance Analysis of an Improved Dynamic Power Management Model in Wireless Sensor Node*", Digital Communications and Networks, Vol. (3), Issue (1), February 2017, 19-29.