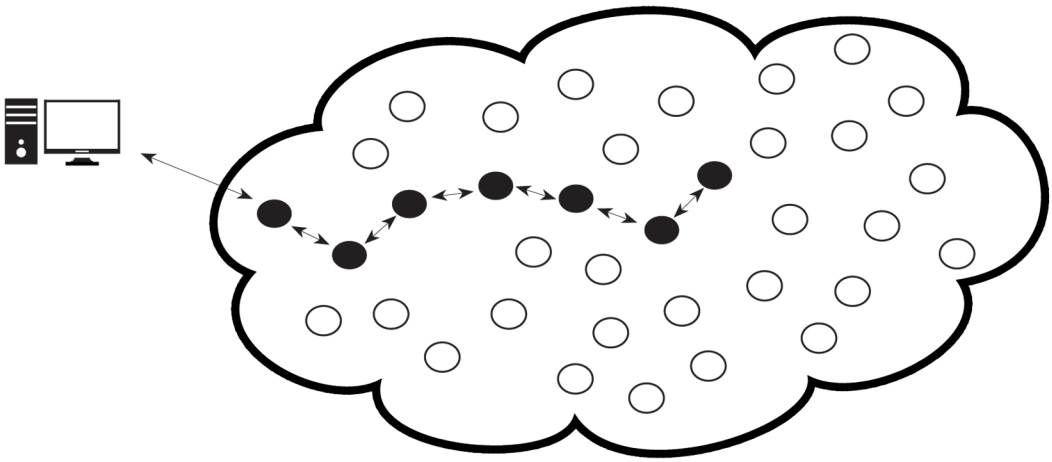
المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

مقدّمة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

تأليف
د. ماهر نبيه الشّقنقيري



الرياض
١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

www.j4know.com

www.j4know.com

www.j4know.com

المملكة العربية السعودية

مقدّمة في
شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

تأليف

د. م. ماهر نبيه الشّقنقيري

الرياض

١٤٣٦هـ / ٢٠١٥م

www.j4know.com

ح مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، ١٤٣٦هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الشقنقيري، ماهر نبيه

مقدمة في شبكات الحساسات اللاسلكية. / ماهر نبيه

الشقنقيري .- الرياض ، ١٤٣٦هـ

.. ص ؛ .. سم

ردمك: ٩-٧٠-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨

١- الاتصالات السلكية واللاسلكية ٢-شبكات المعلومات

أ. العنوان

ديوي ٣٨, ٦٢١ ١٤٣٦/٢٢

رقم الإيداع: ١٤٣٦/٢٢

ردمك: ٩-٧٠-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨

جميع الحقوق محفوظة

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢

المملكة العربية السعودية

هاتف: ٤٨٨٣٤٤٤ - ٤٨٨٣٥٥٥ فاكس: ٤٨٨٣٧٥٦

الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa

إصدارات المدينة: publications.kacst.edu.sa

البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

www.j4know.com

www.j4know.com

www.j4know.com

المحتويات

تقديم ١١

مقدّمة ١٣

الفصل الأوّل: مقدمة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ١٥

١,١ مقدّمة ١٥

١,١,١ تطوّر الأنظمة الإلكتروميكانيكيّة ١٥

١,١,٢ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ١٦

١,١,٣ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ١٧

١,١,٤ أنواع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ١٨

١,١,٥ محدوديّة إمكانات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ١٩

١,٢ تاريخ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٢٠

١,٢,١ شبكات الحسّاسات في التطبيقات العسكريّة ٢٠

١,٢,٢ شبكات الحسّاسات الموزّعة ٢١

١,٢,٣ شبكات الحسّاسات في ثمانينيّات القرن العشرين وتسعينيّاته ٢٢

١,٢,٤ أبحاث شبكات الحسّاسات في القرن الحادي والعشرين ٢٣

١,٣ موازنة بين شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة ٢٦

١,٣,١ الأجهزة والتطبيقات ٢٧

١,٣,٢ الاستخدام في تطبيق محدّد ٢٧

١,٣,٣ التفاعل مع البيئة المُحيطة ٢٨

١,٣,٤ نطاق الشّبكة ٢٨

١,٣,٥ الطاقة ٢٩

١,٣,٦ تغيّر شكل الشبكة ٢٩

١,٣,٧ الاعتماديّة وجودة الخدمة ٢٩

www.j4know.com

١,٣,٨ التَّمحوُر حول البيانات ٣٠
١,٣,٩ بساطة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ٣٠
١,٣,١٠ خاصيّة التّجوال ٣٠
الفصل الثّاني: بِناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ٣٢
٢,١ بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة ٣٢
٢,١,١ وحدة الاستشعار ٣٣
٢,١,٢ وحدة المعالجة ٣٤
٢,١,٣ وحدة الإرسال والاستقبال ٣٩
٢,١,٤ وحدة الطّاقة ٤١
٢,١,٥ وحدات إضافية ٤٤
٢,١,٦ وحدة المحطّة الرئيسة ٤٨
٢,١,٧ وحدة مسيّر شبكات حسّاسات لاسلكيّة ٤٩
٢,٢ تحدّيات بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ٤٩
٢,٢,١ استهلاك الطاقة ٥٠
٢,٢,٢ تكلفة الإنتاج ٥١
٢,٢,٣ قيود التّصنيع ٥١
٢,٢,٤ الوسط المحيط ٥١
٢,٢,٥ الوسط الناقل للبيانات ٥٢
٢,٢,٦ إدارة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من بُعد ٥٢
٢,٢,٧ سهولة الاستخدام ٥٣
٢,٢,٨ المُواصفات القياسيّة ٥٣
الفصل الثّالث: بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٥٤
٣,١ سيناريوهات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٥٤

www.j4know.com

٣,١,١ أنواع العُقَد وأنواع المحطّات الرئيسة ٥٤
٣,١,٢ الإرسال المباشر أو عبر الوسطاء ٥٦
٣,١,٣ عدد المحطات الرئيسة ٥٨
٣,١,٤ تنقّل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ٥٩
٣,١,٥ تنقّل المحطات الرئيسة ٥٩
٣,١,٦ تنقّل الحدث ٦٠
٣,٢ تحدّيات البناء في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٦٠
٣,٢,١ اكتشاف الشبكة ٦٠
٣,٢,٢ مراقبة شبكة الاتّصال وتحديد مساراتها ٦١
٣,٢,٣ التّعاون في معالجة الإشارات ومعالجة البيانات ٦٢
٣,٢,٤ التكليف بالمهام والاستعلامات ٦٣
٣,٢,٥ أمن الشبكة ٦٣
٣,٣ طبقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٦٤
٣,٣,١ الطبقة الفيزيائيّة ٦٥
٣,٣,٢ طبقة ربط البيانات ٦٥
٣,٣,٣ طبقة الشبكة ٦٧
٣,٣,٤ طبقة النقل ٦٨
٣,٣,٥ طبقة التطبيقات ٦٨
٣,٤ مستويات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٦٩
٣,٤,١ مستوى إدارة الطاقة ٦٩
٣,٤,٢ مستوى إدارة النقل ٦٩
٣,٤,٣ مستوى إدارة المهامّ ٦٩
٣,٥ توزيع الشبكة ٦٩

www.j4know.com

٣,٥,١ التوزيع الهيكليّ والتوزيع العشوائيّ ٧٠
الفصل الرّابع: تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ٧١
٤,١ التطبيقات العسكريّة ٧١
٤,١,١ رصد القوّات الصّديقة ٧٢
٤,١,٢ مراقبة ساحة المعركة ٧٢
٤,١,٣ الاستهداف ٧٣
٤,١,٤ تقييم نتائج المعركة ٧٣
٤,١,٥ الكشف عن الهجمات النوويّة والبيولوجيّة والكيميائيّة ٧٣
٤,٢ تطبيقات رصد البيئة ٧٣
٤,٢,١ الحياة البرّيّة ٧٤
٤,٢,٢ تلوّث الهواء ٧٥
٤,٢,٣ التلوّث الإشعاعي النوويّ ٧٦
٤,٢,٤ حرائق الغابات ٧٨
٤,٢,٥ تحت مياه البحار والمحيطات ٧٩
٤,٢,٦ الفضاء والطيران ٨٠
٤,٣ تطبيقات داخل المباني ٨١
٤,٤ التطبيقات الإنشائيّة ٨٣
٤,٥ تطبيقات المدن الذكيّة ٨٣
٤,٦ التطبيقات الصناعيّة ٨٧
٤,٧ تطبيقات النّفط والغاز ٨٧
٤,٨ تطبيقات الإمدادات اللوجستيّة ٨٩
٤,٩ التطبيقات الزراعيّة ٨٩
٤,١٠ التطبيقات الصحيّة ٩٢

www.j4know.com

٤,١٠,١ شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة ٩٢
٤,١٠,٢ تطبيقات صحيّة أخرى ٩٦
٤,١١ تطبيقات الرّياضة البدنيّة ٩٦
٤,١٢ تطبيقات تستخدم الإنسان الآليّ (الروبوت) ٩٧
٤,١٣ تطبيقات أخرى ٩٨
كشاف الموضوعات **١٠٠**
فهرس الأشكال **١٠٣**
قائمة المصطلحات **١٠٦**
المراجع **١١٠**
الكتب والأبحاث **١١٠**
مواقع الإنترنت **١٢٢**

www.j4know.com

www.j4know.com

تقديم

يتميز هذا العصر بالتقدم العلمي الهائل والمتسارع في شتى جوانب المعرفة، وكذلك في عدد الاكتشافات والمخترعات في مختلف الجوانب والتطبيقات. وقد أحدث ما شهدته الحضارة الإنسانية من قفزات وطفرات علمية تغييرًا جذريًّا شمل معظم نواحي الحياة البشرية.

ولأسباب تتعلق بهذا التراكم الكبير من العلوم وتطبيقاتها، وبسياق يستهدف تنمية الإنسان علميًّا من أجل تنميته الذاتية، أخذت مفاهيم، مثل: الوعي العلمي، والتنوير العلمي، والتثقيف العلمي تشق طريقها؛ لتسهم في زيادة الوعي بالعلوم ومنتجاتها، والمعارف وتطوراتها، بل شملت نواتج التطور في بعض العلوم وآثارها، واستخداماتها الرديئة.

ولهذه الأسباب وغيرها برزت أهمية الاهتمام بما يعرف بالثقافة العلمية، حيث ظهر هذا المصطلح على الساحة الثقافية العامة، وأصبح يفرض نفسه كضرورة ملحة؛ لتكوين المواطن الواعي بالمجريات العلمية التي من حوله، وخاصة بعد التفجر المعرفي الهائل الذي غيّر كثيرًا من الأنماط الفكرية والسلوكية للإنسان، وذلك بعد دخول العلم بنظرياته وتقنياته في مختلف مجالات النشاط الإنساني.

وقد جاءت السياسة الوطنية للعلوم والتقنية والابتكار في المملكة العربية السعودية مؤكّدة على أهمية نشر الوعي العلمي، والثقافة العلمية في المجتمع السعودي؛ لربط المجتمع العريض بتطورات العلوم، ونشر مفاهيمها الأساسة، ومن ثمّ بناء ثقافة علمية تستجيب للتوجهات الحثيثة نحو البحث العلمي، والتطوير التقني في المملكة.

وقد حرصت مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية منذ إنشائها على الاهتمام بالتوعية العلمية، ونشر الثقافة العلمية، حيث دأبت على متابعة إصدار المطبوعات العلمية من مجلات، وكتيّبات، وكتب علمية، وغيرها من الإصدارات الموجهة إلى عموم القرّاء والمستفيدين من أوعية النشر المتعددة، وكذلك نشاطاتها الأخرى: كأسبوع العلوم والتقنية، والمحاضرات، والندوات، والمؤتمرات؛ وذلك للإسهام في تثقيف أفراد المجتمع، وتنمية معارفهم العلمية، بالإضافة إلى إثراء المكتبة العربية، والمحتوى العربي في أوعية المعلومات الحديثة؛ لتعمّ الفائدة، وتتسع آثارها.

ويأتي هذا الإصدار كأحد الإصدارات العلمية الموجهة إلى عموم القرّاء الكرام. وستتبعه- بإذن الله تعالى- إصدارات عدة تشكّل سلسلة ممتدة من المعارف والعلوم والتطبيقات العلمية في مجالات كثيرة.

أسأل الله التوفيق؛ للمضي قدمًا في سعينا إلى إثراء المكتبة العربية بإصدارات علمية متنوعة، حيث نرجو أن تحقق أثرًا حميدًا يدفعنا جميعًا نحو مجتمع معرفي، يحثّ الخطى صوب التقدم والتطور.

رئيس مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

د. تركي بن سعود بن محمد آل سعود

www.j4know.com

www.j4know.com

مقدّمة

بسم الله، والحمد لله، والصّلاة والسّلام على رسول الله – صلّى الله عليه وسلم – أمّا بعد؛ فإنّ الكتاب الذي بين أيدينا هو مقدّمة في علم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، الذي يُعَدّ أحدَ الفروع الحديثة في علم شبكات الحاسبات، ويعدّ هذا الكتاب أوّلَ الكتب المطبوعة باللغة العربيّة في هذا المجال، ويأتي الكتابُ استشعارًا منّا بأهميّة تعريب العلوم، وكونِها تمثّل حجرَ الزاوية في بناء التقدم العلمي للأمّة؛ إذ يتيح للطالبِ العربيّ التغلّبَ على الكثير من الإشكاليّات والصّعوبات التي تواجهه؛ فالطّالب العاديّ يحتاج إلى الكثير من الوقت والجهد لدراسة اللغة الأجنبية ذاتِها؛ فضلًا عن الجهد المضاعَف الذي يبذله لدراسة العلوم بهذه اللغة موازنة بالدراسة بلغته الأمّ؛ ممّا يؤثر – ولا شك – بصورة سلبيّة في مجمل تحصيل الطالب. ولا يقتصر الأمر على هذا فحَسْبُ، بل كثيرًا ما يقف حاجز اللغة عائقًا أمام قدرة الطالب على الإبداع والابتكار؛ ولكي تأتيَ عمليّة التّعريب بنتائجَ إيجابيةٍ في تطوير التقدم العلمي في العالم العربي وإثرائه؛ تحتاج حركة التّعريب إلى جهود ضخمة في تعريب أمّهات الكتب والمراجع والكتب المهمّة، بل والأبحاث المنشورة في كل مجال من مجالات العلوم، مع استمرار هذا العمل لسنوات طويلة بالتوازي مع تطوير العلوم والاهتمام بالبحث العلمي. وهو ما يحتاج لجهود ضخمة وتمويل كبير، لا يمكن أن يقتصر على الجهود الفردية، بل يجب أن يمتدّ إلى المؤسسات والمنظمات ذات الشأن في الدول العربية للعمل بصورة تكامليّة؛ لكي تتضافر الجهود نحو الهدف المنشود.

يهدفُ الكتاب إلى إثراء المكتبة العربيّة في مجال العلوم الهندسية، وذلك من خلال تقديم فكرة تفصيليّة، وشرح وافٍ لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ من حيث نشأتها، وكيفيّة بنائها، وتطبيقاتها المختلفة. ويستهدف الكتاب ثلاث فئات مختلفة من القراء: المجموعة الأولى؛ هم الباحثون المبتدئون في مجال شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يوفّر الكتاب مقدِّمة وافية وميسّرة عن هذا النوع من الشبكات، ممّا يتيح لهؤلاء الباحثين فرصةُ الانطلاق نحو مراجعَ أكثر تفصيلًا في هذا المجال، أمّا المجموعة الثانية المستهدفة من هذا الكتاب فتشمل المتخصّصين

www.j4know.com

في أحد مجالات المعرفة خارج تخصّص شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ممّن توفر لهم تلك الشبكات مجالاتٍ تطبيقيةً جديدةً متعلّقة بتخصّصاتهم. ومن أمثلة هذه المجموعة الأطبّاءُ، ومهندسو الإنشاءات، ومهندسو الآلات، والباحثون في مجال الزراعة، والقادة العسكريّون، والباحثون في مجال الحفاظ على البيئة، والمتخصّصون في الرّياضة البدنيّة، وغيرهم. أمّا المجموعة الثالثة وهي الأخيرة فتتمثّل في القارئ العادي – غير المتخصّص – الواسع الاطّلاع والثقافة، الذي يرغَب في التعرّف إلى مجالات العلم الحديث بصورة عامة؛ إذ يوفر هذا الكتاب صورة واضحة لهذا القارئ عن مجال شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وربما يواجه هذا النوع من القرّاء بعضًا من الصعوبات في فهم بعض الحقائق العلمية في مجال شبكات الحاسبات بصورة عامة أو في مجال شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة خاصة، إلا أن ذلك لن يؤثر قطعاً في الفهم العام لموضوعات الكتاب.

يتكوّن الكتاب من أربعة فصول، يسبقها قائمة بالمصطلحات المعرَّبة المستخدمة في الكتاب، مع ما يقابلها من مصطلحات في اللغة الإنجليزية، ويلي الفصول الأربعة فهرس المصطلحات وقائمة المراجع.

يقدّم الفصل الأول من الكتاب لعلم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يعرض بصورةٍ ميسّرة فكرة شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ثم يوضّح تاريخ نشأتها منذ ظهورها فكرةً، مرورًا بتطوّرها، حتى وصولها إلى صورتها الحالية، كما يعرض الفصل موازنة مستفيضة بين شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، موضحًا أوجه التشابه والاختلاف بينهما. يأتي الفصل الثاني بعد ذلك بعنوان "بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة"؛ ليُبَيِّنَ بالتفصيل مكوّنات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، فيوضّح الأجزاء الأساسية وكذلك الملحقات الإضافية التي يمكن تزويد العُقَد بها. كما يناقش الفصل التحديّات التي تواجه بناءَ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وكيفية التغلب عليها. ينتقل الفصل الثالث بالقارئ إلى "بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة"؛ ليعرض صورة شاملة لطريقة تشغيل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وكيفيّة نقل البيانات فيما بينها. يشرح الفصل السيناريوهات المختلفة لتشغيل

www.j4know.com

شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وتحديّات بناء الشبكة، كما يتعرّض في شيء من التفصيل لشرح طبقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة ومستوياتها المختلفة. أمّا الفصل الرابع – وهو الأخير – فيطرح العديد من التطبيقات المتنوّعة لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المجالات المختلفة. وفي النهاية يأتي فهرس المصطلحات ثم قائمة بأسماء المراجع التي تم الاسترشاد بها في الكتاب.

وفي هذا المقام لا يسعني إلا أن أتقدّم بجزيل الشكر والعرفان لكل من أسهم في إخراج هذا الكتاب إلى النور، وأخصّ بالذكر الإدارة العامة للتوعية العلميّة والنشر بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية؛ لِمَا قدّمتْه من تمويل ورعاية واهتمام حتى يخرج هذا الكتاب بهذه الصورة المشرِّفة، كما أتقدّم بالشكر للسادة الأساتذة الأفاضل الذين راجعوا الكتاب على ما قدَّموه من نصائحَ علميّة ولغويّة، أُخذ كثير منها في الاعتبار عند المراجعة النهائيّة للكتاب.

وفي النهاية أسأل الله عزّ وجلّ أن يجعل هذا الكتاب أساسًا ومرجعًا للقارئ العربيّ في علم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وأن يجعلَه الله لبنة في بناء صرح التقدم العلمي للأمّة الإسلاميّة، سعيًا لاستعادة مجدها التليد.

المؤلف

www.j4know.com

الفصل الأوّل

مقدمة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

١.١ - مقدّمة

كان الهـدفُ الأساسيّ من صناعة الحاسوب منذ أكثر مـن ستين عامًا هو استخدامه في عمليّات معالجة البيانات؛ أيْ للقيام بعمليات رياضيّة ومنطقيّة ونحوها. ويرجع ذلك إلى قدرة الحاسوب على أداء هذه المهام في زمن قياسيّ وبدقّة عالية، لا يستطيع الإنسان أن يصل إليها إلا بصعوبة بالغة، وبعد بذل كثير من الجهد والوقت. وقد شجّع التفوّقُ الذي أظهره الحاسوب في مجال معالجة البيانات العلماءَ والباحثين على إدخال الحاسوب في مجال التحكّم، ومن ثَمّ فلم يتم الاكتفاء بالدور التقليدي للحاسوب في إدخال البيانات لمعالجتها عن طريق الوسائل التقليدية؛ كإدخالها باستخدام لوحة المفاتيح، ثمّ إخراج النتائج باستخدام الشاشة أو الطابعة، بل تطوّر الأمر إلى ربط الحاسوب بالبيئة المحيطة؛ وذلك لتسجيل بعض العوامل الموجودة في تلك البيئة أو للتحكّم في بعض الأجهزة الموجودة فيها، كربط كاميرات المراقبة بالحاسوب؛ لمراقبة منطقة محدّدة لتسجيل الحركة في تلك المنطقة، أو لاكتشاف عمليّات التسلّل، أو لربط مقياس درجة الحرارة بالحاسوب؛ ليتحكّم في أجهزة تكييف الهواء؛ لتشغيلها أو لإيقافها عند درجة حرارة محدّدة، وغيرها من الأمثلة العديدة، وبذلك أصبح للحاسوب دورٌ فاعلٌ لا يقتصر على معالجة البيانات فقط، لكنّه امتدّ ليصبح مُرْتبِطًا بالبيئة؛ ليسجّل بعض العوامل المحيطة بتلك البيئة، أو للتحكّم آلياً في بعض الأجهزة التي يستخدمها الإنسان.

ظلّ اتّصال الحاسوب بأجهزة القياس أو أجهزة التحكّم لوقْتٍ زمنيّ طويل مقصورًا على الاتّصال السلكيّ المباشر بين الحاسوب من جهة، وتلك الأجهزة من جهة أخرى. وهذا الاتّصال السلكيّ قد وضع – ولا شك – قيودًا على التطبيقات التي يمكن أن يقدّمها الحاسوب في هذا المجال. من ناحية أخرى أتاحت التطوّراتُ العلميّة المستمرّة في السنوات الأخيرة في مجالَي: الإلكترونيـات والاتصالات اللاسلكيّة، تصنيـعَ حسّاسات لاسلكيّة تعمـل بالبطاريّة، وتتميّز بصغر الحجم، وانخفاض التكلفـة، وتعدّد الاستخدامات، كما أنّـه يمكنها الإرسال لاسلكيًا

www.j4know.com

لمسافات مختلفة، وسمح تصنيع تلك الحسّاسات اللاسلكيّة بوجود تقنية جديدة تُسَمَّى شبكاتِ الحسّاسات اللاسلكيّة (Wireless Sensor Networks) واختصارًا (WSN)؛ لتصنع الأخيرة بدورها جسرًا بين عالم تكنولوجيا المعلومات والطبيعة التي نحيا فيها [٢١].

١.١.١- تطوّر الأنظمة الإلكتروميكانيكيّة

كان للتقدّم العلمي الكبير في مجالات علميّة متعددّة مثل: الفيزياء، والإلكترونيات الدقيقة، والتحكّم الآلي، وعلم المواد، دورٌ بارزٌ في تطوّر كلّ علم من تلك العلوم على حدة، لكن اللافت للنظر في التقدم العلميّ في السنوات القليلة الماضية هو التعاون المشترك بين علماءَ من تخصّصات مختلفة مع بعضهم بعضًا، وقد أدّى التعاون بين التخصّصات التي سبق ذكرُها إلى إيجاد الأنظمة الإلكتروميكانيكية الدّقيقة (Micro-Electro-Mechanical Systems) واختصارها (MEMS)، التي نجحت بدورها في تطوير الحدود الخاصّة لما يُسَمَّى منظومة إلكترونية على شريحة (System-on-a-chip) أو (SoC)؛ إذ فَتَحت الأنظمة الإلكتروميكانيكية الدقيقة (MEMS) آفاقًا جديدة أمام الشرائح الإلكترونيّة [٤٩]؛ فهذه الشّرائح الإلكترونيّة التي كانت من قبل تنفّذ عمليّات منطقيّة ورياضيّة فحسب، أصبحت – بالإضافة إلى وظائفها التقليدية – تَحْمِلُ نظامًا كاملًا لقياس بعض العوامل والظواهر الطبيعيّة، بل وإرسال تلك القياسات بصورة لاسلكيّة.

لم تكن الأنظمة الإلكتروميكانيكية الدقيقة هي صاحبة الدور الوحيد في تلك المنظومة الجديدة، لكنّ التقدُّم الملموس في تكنولوجيا التردد الراديوي(Radio Frequency) واختصارًا (RF)، وتكنولوجيا الدوائر الرقميّة (Digital Circuits)، كان لهما – كذلك – دورٌ كبيرٌ في هذا التقدّم؛ إذ سمحت الأولى بتصنيع أجهزة إرسال واستقبال ذات طاقة منخفضة وترددات عالية، أمّا الثانية فقد أتاحت تصنيع شرائح متناهية الصغر ذات إمكانات متعدّدة.

٢.١.١ - عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

كان التعاون المشترك بين كلٍّ من تكنولوجيا الحسّاسات، وتكنولوجيا معالجة البيانات، وتكنولوجيا الاتصالات، هو الخطوةَ التّالية لاختراع أجهزة جديدة صغيرة الحجم وتصنيعها،

www.j4know.com

ويطلق على الواحدة منها عُقْدة حساسات لاسلكيّة (Wireless Sensor Node)، وتسمَّى كذلك عقدة دقيقة (Mote)؛ نظرًا لصغر حجمها وخفة وزنها [٣١]. وتُعدّ هذه العقدة الدقيقة وحدة مستقلّة مُدْمَجَة تقيس العوامل المحيطة، ومن ثمَّ تعالج البيانات المسجلَة، وترسلها لاسلكيًّا إلى محطـة رئيسة (Base-Station) أو (Sink)، التي تجمـع المعلومات، وبتعبير آخر فإنّ وظيفة العقدة الدقيقة تتلخّص في تحويل القياسات الطبيعيّة المسجّلة – كدرجة الحرارة أو نسبة الرطوبة ونحوها – إلى معلومات يمكن للمستخدم قراءتها وتسجيلها للاستفادة منها.

تتكوّن شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة (WSN) مِنْ مجموعةٍ مِنْ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي يعمل كلّ منها بصورة مستقلّة، ثم تتصل لاسلكيًا فيما بينها لتبادل المعلومات ثم إيصالها في النهاية إلى محطة رئيسة. وعلى هذا فإنّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تمتاز بالجمع بين عدّة إمكانات؛ فهي قادرة على استشعار بعض العوامل الطبيعيّة في البيئة المحيطة بها، وإجراء بعض العمليّات المحدودة لمعالجة البيانات، ثمّ إمكانيّة الاتّصال لاسلكيًا [٤٦]. ويؤهّلها ذلك لأن تكون جزءًا من البيئة المحيطة بالإنسان؛ لتراقب وتستشعر العوامل والظواهر الطبيعيّة في تلك البيئة؛ لتعطي صورة دقيقة ومتكاملة عن الظواهر التي يرغب الإنسان في رصدها ودراستها. وممّا يُسهم في انتشار هذا النوع من الشبـكات: انخفاض التكلفة، وتوافر إمكانات الاتصال اللاسلكي. يبينّ (شكل ١) صورة لأحد أوّل النماذج المُصنّعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة.

شكل ١ (عقدة لاسلكيّة) [١٠٨]

www.j4know.com

٣.١.١ - شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

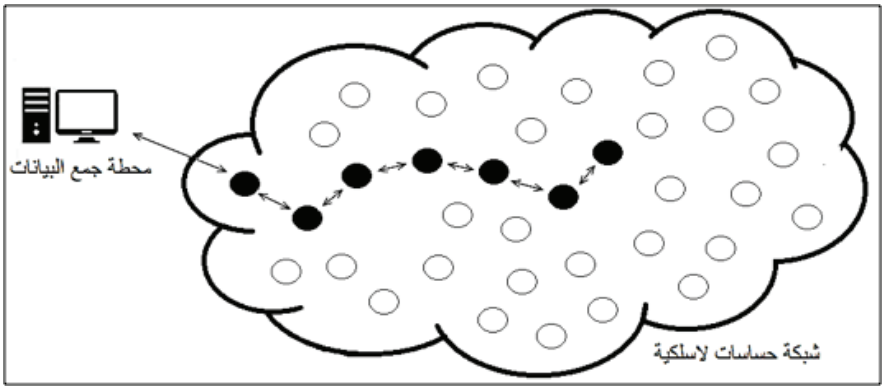
عادة ما تنتشر عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في منطقة محدّدة – وهو ما يطلق عليه حقل الاستشعار (Sensor Field) – مكوّنة بذلك شبكة من الحسّاسات اللاسلكيّة. ووضع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة قد يكون بصورة منتظمة، وقد يكون بصورة عشوائيّة، وذلك تبعًا لطبيعة البيئة المحيطة، ولطبيعة التطبيق المستخدمة فيه؛ فترتيب العُقَد لعمل شبكة لاكتشاف الحرائق في مبنى معيَّنٍ يكون بصورة منتظمة ومرتّبة، في حين أن وضْع العُقَد لبناء شبكة مماثلة لاكتشاف الحرائق في مناطق الغابات قد يكون بصورة عشوائية من خلال رمي عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من طائرة مثلًا [٤٠]. ويكون لدى كلّ عقدة من العُقَد المنتشرة في الشبكة القدرة على استشعار البيئة المحيطة، ومن ثمّ جمع البيانات المطلوبة، ثمّ تُرسل هذه العُقَدَة البيانات إلى المحطة الرئيسة، التي يستطيع المستخدِم من خلالها أن يتعامل مع البيانات التي جُمعت. وتتمّ عمليّة توجيه البيانات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطّة الرئيسة (أو المحطّات الرئيسة في حالة تعددها) في صورة قفزات متعدّدة (multihop) من عُقدة إلى أخرى باتجاه المحطّة الرّئيسة (كما هو موضح في شكل ٢)؛ إذ يكون مدى الإرسال لكلّ عقدة محدودًا من أجل الحفاظ على الطاقة الموجودة لكل عقدة دقيقة؛ فمن المعلوم أنّ الطاقة المستهلكة في إرسال البيانات تتناسب طرديًا مع مُرَبَّع مدى الإرسال[١] [٦٥].

وتتميّز شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بعدّة خصائصَ أخرى تجعلها مختلفة عن غيرها من شبكات المعلومات التقليديّة، سواء أكانت سلكيّة أم لاسلكيّة. ومن أهمّ تلك الخصائص أنّه لا يوجد في الشبكة بُنْية تحتيّة ثابتة أو هيكل بنائيّ ثابت ليستخدم مساراتٍ للإرسال، وهو ما يطلق عليه (Infrastructureless)، ويتمّ تحديد المسار عند الإرسال في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تبعًا لظروف الشبكة. ومن خصائص شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة كذلك أنّ لديها القدرةَ على إعادة ترتيب هيكل الشبكة واختيار مسارات الإرسال بصورة ذاتيّة دون تدخّل العنصر البشري، وهذا التغير في بناء الشبكة يكون بصورة شبه دائمة ومستمرّة،

١ – وهو النموذج النظري للراديو (ويطلق عليه نموذج الراديو من الدرجة الأولى) [٩٣]. في حين يكون معدَّل الطاقة المستهلكة عملياً أكثر من ذلك؛ إذ تتناسب الطاقة المستهلكة مع مدى الإرسال مرفوعًا لأس، يتراوح هذا الأس ما بين اثنين إلى أربعة تبعاً لعوامل عديدة في الشبكة (و يطلق عليه نموذج الراديو من الدرجة الثانية).

www.j4know.com

ويرجع ذلك لتغيّر طبوغرافية الشبكة بصورة دائمة، بسبب اضمحلال أو زيادة قوّة الإشارة اللاسلكيّة، وأيضًا بسبب خروج بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من الشبكة نتيجة فقدانها الكامل للطاقة. ويأتي في طرف الشبكة المحطة الرئيسة أو عدّة محطات رئيسة، التي من الممكن أن ترتبط بمدير الشبكة عبر شبكة الإنترنت (Internet) أو الأقمار الاصطناعية.



شكل ٢ (رسم توضيحي لشبكة حسّاسات لاسلكيّة) [١٣٦]

٤.١.١ - أنواع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

انتشرت في السّنوات الأخيرة صناعة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة كبيرة، وأصبحت هناك أنواعٌ متعددةٌ من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة تستخدم لقياس مجموعة كبيرة من العوامل الطبيعيّة المختلفة، من عوامل: فيزيائية وكيميائية وبيولوجية وغيرها. تحتوي كلّ عقدة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة حسّاسًا واحدًا أو أكثر لقياس عامل طبيعيّ واحد، أو مجموعة من العوامل الطبيعيّة. من العوامل الطبيعيّة التي أصبح يمكن قياسها في الوقت الحاضر عن طريق حسّاسات مثبتة على لوحات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهي على سبيل المثال لا الحصر: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وشدّة الصوت، وشدّة الإضاءة، والإزاحة الخطّيّة، والسرعة، والتسارع، والضغط الجويّ، ونظام تحديد المواقع، وشدّة المغناطيسيّة، وشدّة التيار الكهربائي، ودرجة حرارة التّربة، ودرجة رطوبة التّربة، وسرعة الرّياح، ومعدّل هطول الأمطار، وشدّة الأشعّة الشمسيّة، وشدّة الأشعّة فوق البنفسجيّة، ونسبة الغازات المختلفة في الجوّ، مثل: (أوّل أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، والأكسجين، والميثان،

www.j4know.com

والهيدروجين، والأمونيا، والأيزوبوتان، والإيثانول، والتولين، وكبريتيد الهيدروجين، وثاني أكسيد النيتروجين، والأوزون، والمُرَكّبات العُضْويّة المتطايرة، والغـازات البترولية المُسالَة، وملوِّثات الهواء)، ونسبة الإشعاع، والشدّ، والضغط، والميل أو الانحناء، والتمدّد، والاهتزاز، والكشف عن التصدّع وقياس مـداه في المنشآت الخراسانيّة، وشدة الـزلازل، ومستوى السوائل أفقيًا ورأسيًا، والكشف عن تسرّب المياه أو السّوائل، وشدة تدفّق السوائل، والموجات فوق الصوتيّة، ورسم القلب الكهربائـيّ (Electrocardiography) أو (ECG)، ورسـم المخ الكهربائيّ (Electroencephalography) أو (EEG)، ورسم العضلات (Electromyography) أو (EMG). ولا يـزال هناك المزيد من الحسّاسات المختلفة التـي تُصنّع لقياس المزيد من العوامل الطبيعيّة.

ويقصد العلماء وصانعو عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى تصغير حجم عُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة ليصل إلى عـدة ميلليمترات مكعّبة مع خفض تكلفـة التصنيع؛ بحيث يصل سعر العقدة الواحدة شاملـة أجزاء الحساس، ومعالج البيانات، وجهـاز الإرسال، والبطاريّة إلى أقل من دولار أمريكيّ واحد. سيؤدّي صغر حجم العُقَد مع انخفاض التكلفة إلى انتشار الجيل الثالث من الإنترنت، أو ما يطلق عليه إنترنت الأشيـاء (Internet of things) [٩١]؛ إذ يمكن لتلك الأجهزة التواصل فيما بينها؛ لتنقل صورة حيّة متكاملة للبيئة المحيطة من خلال المحطات الرئيسة كما سبق توضيحه. وبهذا فإنّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تمثّل نقلة تقنيّة هائلة من مجرّد التواصل بين البشر باستخدام الأجهزة، إلى التواصل بين الأجهزة الحديثة فيما بينها دون تدخل بشريّ مباشر، وتسمح كذلك بإمكانيّة مراقبة نطاق شاسع من الطبيعة المحيطة بالإنسان؛ لتُعْطِيَ لنا صورة بالغة الدقّة عن تلك الطبيعة.

٥.١.١ - محدوديّة إمكانات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

من الملاحَظ أنّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة تتّصف بمحدوديّة الموارد وذلك بسبب صغر الحجم؛ فالعُقْدة الواحدة تحتوي معالجًا صغير الحجم ذا إمكانات محدودة، بالإضافة إلى ذاكرة ذات سعة تخزين صغيرة، كما أنّ عرض النطاق الترددّي للاتصال محدود. وأخيرًا

www.j4know.com

فإنّ الطاقة الكهربائيّة تقتصر على طاقة البطاريّة المثبّتة في العُقْدة، إلّا أنّ نقطة قوّة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة لا تكمن في كلّ عُقدة بصورة منفردة، ولكنْ تَكْمُنُ في تواصل العقد مع بعضها بعضًا، وعملها كشبكة واحدة، الذي يمكّنها مجتمعة من قياس عوامل طبيعيّة متعدّدة، ومعالجة كميّة كبيرة من البيانات بصورة موزّعة بين العقد، ثمّ إرسالها إلى المحطة الرئيسة؛ ولكي تزيد الفائدة من استخدام الشبكة يجب أنْ تعمل لوقْتٍ طويل، وهو ما يرتبط بعمر البطاريّات الموجودة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ولذلك فإنّ توفيرَ الطاقة المستهلَكة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يعدّ من أهمّ التحدّيات والاستراتيجيّات الواجب اتّباعها في إدارة الشبكة، ويستلزم ذلك الاقتصاد في عمليات قياس العوامل الطبيعيّة المحيطة، وعمليات معالجة البيانات، وعمليّات إرسال البيانات لاسلكيًّا، وهذا يتطلب غلق جهاز الإرسال في بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من حين لآخر، ما يجعل شكل شبكة الإرسال متغيّرًا بصورة شبه دائمة. كذلك فإنّ انتهاء عمر البطارية أو التعرض للعوامل الطبيعة المختلفة قد يؤدي لخروج بعض العقد من الشبكة، وهو ما يؤدي كذلك لتغير شكل الشبكة. أخيرًا فإنّ انتشار عدد كبير من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة سيزيد من كثافة انتشار العقد، وهو ما يؤدّي إلى الوصول لدرجة عالية من التفاعل بين العقد المختلفة. وسواءٌ أكان هذا التفاعل إيجابيًّا أم سلبيًّا؛ فإنّ كلّ هذه العوامل السابقة الذِّكر تزيد من تعقيد بروتوكولات الإرسال (Communication Protocols) الخاصّة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ومع صعوبة عوامل التشغيل المذكورة، إلّا أنّه يجب الحفاظ على خفض تكلفة تشغيل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وصيانتها؛ إذ إن صيانة شبكات كبيرة من الأجهزة صغيرة الحجم يعدّ أمرًا غيرَ عملي، إنْ لم يكن مستحيلًا في بعض الأحيان؛ ولذلك يجب أن تتوافر لعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة القدرةُ على تنظيم الشبكة آليًّا، مع توفير وسائل برمجة وإدارة الشبكة بأكملها؛ ليتم التحكّم في الشبكة بصورة كليّة دون الحاجة إلى التحكم في كلّ عقدة بصورة منفردة [٤٣].

٢.١- تاريخ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

يتطلّب تطوير تقنية شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تقدّمًا في التقنية المستخدمة في ثلاثة

www.j4know.com

مجالات بحثيّة مختلفة، وهي: الاستشعار، والاتّصالات، والحوسبة، والأخيرة تشمل الأجهزة والبرمجيّات والخوارزميّات. لقد أدّى التقدم العلمي في كلّ هذه المجالات إلى تطور البحث في مجال شبكات الحسّاسات، ومن أمثلة شبكات الحسّاسات التي استُخدمت منذ زمن طويل: شبكات الرادار المستخدمة في مراقبة الحركة الجويّة، وكذلك شبكات الكهرباء الوطنيّة التي تمتلك مجموعة كبيرة من الحسّاسات، التي يمكن أن ينظر إليها على أنّها شبكة حسّاسات كبيرة، وقد وُجِدت هذه الأنظمة وتّم توصيلها بأجهزة الحاسوب مع وجود قدرات على الاتصال فيما بينها، كلّ ذلك قبل ظهور مفهوم شبكات الحسّاسات، الذي أصبح رائجًا ومستخدمًا في الوقت الحاضر؛ أي أنّ المفهوم العلميّ لشبكات الحسّاسات (التي تعدّ سلكيّة في هذه الحالة) كان موجودًا ومستخدمًا منذ وقت طويل قبل أن يُطلق العلماء هذا الاسم عليها، الذي لم تُسَمَّ به فعليًا إلّا بعد ظهور شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

١.٢.١ - شبكات الحسّاسات في التطبيقات العسكريّة

كما هو الحال في العديد من التقنيات – خاصة تلك المتعلقة بعالم الحاسوب – كانت التطبيقات العسكرية هي الدافع الرئيس للبحث والتطوير في مجال شبكات الحسّاسات بصورة عامة، التي تطورت فيما بعد لتُصْبِحَ لاسلكيّة. بدأت فكرة شبكات الحسّاسات خلال الحرب الباردة بين الغرب بقيادة الولايات المتحدة الأمريكية من جهة والشرق بقيادة الاتحاد السوفيتي من جهة أخرى؛ إذ نشرت الولايات المتحدة الأمريكية نظام مراقبة صوتية (Sound Surveillance System) واختصاره (SOSUS)، وهو نظام مكوَّن من مجموعة أجهزة حسّاسات صوتيّة تعمل في الماء، وُضِعت في أعماق المحيط في مواقع استراتيجية؛ لكشف الغوّاصات السّوفيتيّة وتعقّبها [١١٠]. وفيما بَعْد طُوّرت شبكات الحسّاسات الصوتيّة المذكورة لتصبح أكثر تطوّرًا، وأكثر قدرة على رصد الغوّاصات.

أثناء الحرب الباردة أيضًا، أُنشئت منظومة ضخمة لشبكة رادارات خاصة بالدفاع الجوي، تمّ نشر هذه المنظومة بحيث تغطي كلّاً من دولتي: الولايات المتّحدة الأمريكية وكندا؛ لكي تكون قادرة على التنبيه والتحذير من أيّ هجوم جويّ على أيٍّ من البلدين المتجاورين. ومع

www.j4know.com

مضيّ الوقت تطوّر هذا النظام الخاص بالدفاع الجوي في كلّ من الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، ليشمل مناطيدَ هوائيـةً مزوّدة بأجهزة حسّاسات، وشمـل كذلك نظام إنذار وتحكم محمولًا جوًّا، وهـو النظام الموجـود في طائرات الإنذار المبكـر المعروفة باسـم (أواكس) أو (Airborne Warning and Control System) التي تعرف اختصارًا بـ (AWACS). وهذا النظام أصبح يستخدم الآنَ في مكافحة تهريب المخدرات، وفي تعقّب المجرمين الفارّين من العدالة، بالإضافة إلى الاستخدامات العسكريّة التقليديّة.

تختلف شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة الحديثـة عن شبكات الحسّاسـات التقليديّة؛ إذ تعتمد الأخيرة بصورة عامّة علـى بُنية هرمية في معالجة المعلومـات ونقلها من حسّاس إلى آخر، بالإضافة إلى أنّ عمليّة مُعالجة البيانات تتمّ في عدّة مراحلَ من حسّاس لآخر حتّى تصل النتيجة للمستخدم، وتختلفـان أيضًا في كون العنصر البشري يلعـب دورًا فاعلًا في التحكّم المباشر في نظـام شبكات الحسّاسات التقليدية، بعكس شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة التي يتضاءل فيها هذا الدور، كما أنّ البحث العلمـي في مراحله الأولى في الشبكات التقليدية قد ركّز علـى تلبية احتياجات مهمّة محدّدة لتطبيق معيّن، ومع هـذه الاختلافات المتعدّدة إلّا أنّ البحث العلمي في مجال شبـكات الحسّاسات التقليدية كان له دورٌ بارزٌ في نشأة علم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة الحديثة.

٢.٢.١ - شبكات الحسّاسات الموزّعة

بدأت البحوث في مجال شبكات الحسّاسات الموزّعة في عام ١٩٨٠، وذلك في شكل برنامج بحثيّ في وكالة مشروعات البحوث المتقدمة التابعة لـوزارة الدفاع الأمريكية (DARPA)، وكان البرنامج بعنوان: شبكات الحسّاسات الموزّعة (Distributed Sensor Networks) أو (DSN) [١٦]. في ذلك الوقت، كانت شبكة أربانت[٢] (Arpanet) قد بدأت بالفعل في العمل منذ عدّة سنـوات؛ حيث كانت تحتوي نحو مئتين من أجهـزة الحاسوب المُضيف (Hosts)، الموجودة في عدد من الجامعات ومعاهد البحوث الأمريكية، وكانت الشبكة تتكوّن من مجموعة من أجهزة الحسّاسات المنخفضة التكلفة المتّصلة بمجموعة أجهزة الحاسوب المُضيف، ومع أنّ

٢- التي تطوّرت وتوسّعت فيما بعد لتصبح شبكة الإنترنت.

www.j4know.com

كلّ جهاز حسّاس من تلك الحسّاسات كان يعمل بصورة مستقلّة، إلّا أنها كانت تتعاون مع بعضها بعضًا؛ إذ يتمّ توجيه المعلومات وإرسالها إلـى الحاسوب الأمثل في استخدام هذه المعلومات. كان برنامج شبكات الحسّاسات الموزعة طموحًا إلى درجة كبيرة، وذلك بالنظر إلى التقدّم التكنولوجـيّ المتوافر في ذلك الوقت. ولم تكـن أجهزة الحاسـوب الشخصيّ (Personal Computers) ومحطّات العمل (Workstations) قد ظهرت بعد؛ فكانت عمليّات معالجة البيانات تتمّ في الغالب على الحواسيب الصغيرة، مثـل: أجهزة PDP-11 وأجهزة VAX. وكانت أجهزة المودم التي تنقل البيانات تعمل بسرعة تتراوح بين ٣٠٠ و٩٦٠٠ باود[٣] (Baud). أمّا شبكات إيثرنت (Ethernet) فكانت قد بدأت لتوّها بالانتشار.

وقد حُدّدت مكوّنات التكنولوجيا الخاصّة بشبكات الحسّاسات الموزّعة في ورشة عمل أقيمت في عام ١٩٧٨. وشملت هذه المكوّنات كلّاً مِنْ الحسّاسات (الصوتيّة في ذلك الوقت)، وتقنيات الاتّصالات الخاصّة ببروتوكولات المستويات العليا من الشبكة التي تقوم بربط العمليات التي تعمل على تطبيق مشترك في شبكات تقاسم الموارد (Resource Sharing Networks). واشتملت المكوّنـات كذلك على تقنيـات معالجة البيانـات وعلى الخوارزميّـات بما في ذلك خوارزميّات أجهزة الحسّاسات نفسها، وكذلك البرامج الموزعة. ونظرًا لمحدوديّة التكنولوجيا المتاحة في ذلك الوقت، فقد اضطر هذا الأمر برنامج شبكات الحسّاسات الموزّعة إلى تحديد تفاصيل كلٍّ مِنْ: عمليّات دعم الحوسبة الموزّعـة (Distributed Computing)، وعمليّة معالجة الإشارات (Signal Processing)، وعمليات التتبع، وأخيرًا نظم اختبار النظام. وقد تمّ اختيار هدف محـدّد لدراسة شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة المشار إليها، وكان هذا الهدف هو تعقّب إشارات صوتيّة موزّعة بين أماكن مختلفة.

٣.٢.١ - شبكات الحسّاسات في ثمانينيّات القرن العشرين وتسعينيّاته

مع أنّ الباحثين في مجال شبكات الحسّاسات قد اتّجه تفكيرُهم وبحثهم إلى تكوين شبكات حسّاسات من عدد كبير من عُقَد الحسّاسات الصغيرة الحجم، إلّا أنّ التكنولوجيا المتاحة لم تكن تسمح بتصنيع أجهزة صغيرة الحجم في ذلك الوقت، ومع ذلك، فقد تنبّه المتخصّصون

٣- باود هو وحدة سرعة إرسال الإشارات، ويساوي تغير إشارة واحدة في الثانية الواحدة، وهو مقياس لسرعة نقل البيانات [٩٤].

www.j4know.com

في العلوم العسكرية إلى فوائد شبكات الحسّاسات، التي أصبحت عنصرًا حاسمًا في المعارك الحربيّة، فلم يعد دور الحسّاسات المستخدمة في المعارك يقتصر على ربطها بالأسلحة فحسبُ، بل زاد على ذلك أنّ صارت هناك مجموعةٌ من الحسّاسات تعمل بصورة مستقلّة عن الأسلحة؛ بحيث تجمع البيانات وتعالجها، ومن ثمّ ترسلها إلى مركز القيادة لاتّخاذ القرار المناسب في الحرب تبعًا للبيانات الواردة، وقد أثبتتْ شبكات الحسّاسات قدرتها الفائقة على تحسين كفاءة عمليات الاستكشاف والمتابعة عن طريق تعدّد عمليات المراقبة والملاحظة وتكرارها، وتوسيع دائرة تلك المراقبة، بالإضافة إلى سرعة وقت الاستجابة عند اتخاذ القرار، وقد أدّى هذا الاهتمام من قبل العسكريّين إلى انخفاض تكلفة تطوير شبكات الحسّاسات وإنشائها بصورة كبيرة؛ بسبب التوسّع في عمليّات تصنيع عُقَد الحسّاسات.

٤.٢.١ - أبحاث شبكات الحسّاسات في القرن الحادي والعشرين

أدّى التطوّر في كلٍّ من: مجال الحوسبة ومجال الاتّصالات في نهاية القرن العشرين، إلى تحوّل كبير في أبحاث شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وصار واقع حال تلك الشبكات قريبًا من تلك الصورة التي رسمها الباحثون عن الحسّاسات وعن شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ أصبح الحصول على حسّاسات صغيرة الحجم منخفضة التكلفة أمرًا ممكنًا، وعلى هذا يمكن القول إنّ توافر تلك الحسّاسات التي صُنِّعت باستخدام تكنولوجيا منظومة على شريحة، مع إمكانيّة تواصلها لاسلكيًا، وأخيرًا تَوَفُّر معالج منخفض التكلفة وموفِّر في استخدام الطاقة، كلّ هذه التطوّرات العلميّة مجتمعة سمحت بتصنيع عُقَد حسّاسات لاسلكيّة مختلفة الاستخدامات، ومن ثمّ إنشاء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

مع نهاية القرن العشرين بدأ العمل الفعلي في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وكان أحد الأبحاث الرائدة في هذا المجال هو مشروعٌ بحثيٌّ لتصنيع أجهزة حسّاسات دقيقة متكاملة، وموفّرة في استهلاك الطاقة، تعمل على استشعار عوامل بيئية مختلفة من البيئة المحيطة، ومعالجة هذه البيانات، ثمّ نقلها بصورة لاسلكيّة. وقد حمل هذا المشروع الذي بدأ في عام ١٩٩٤ اسم «حسّاسات دقيقة لاسلكيّة متكاملة ذات طاقة منخفضة" (Low-Power Wireless

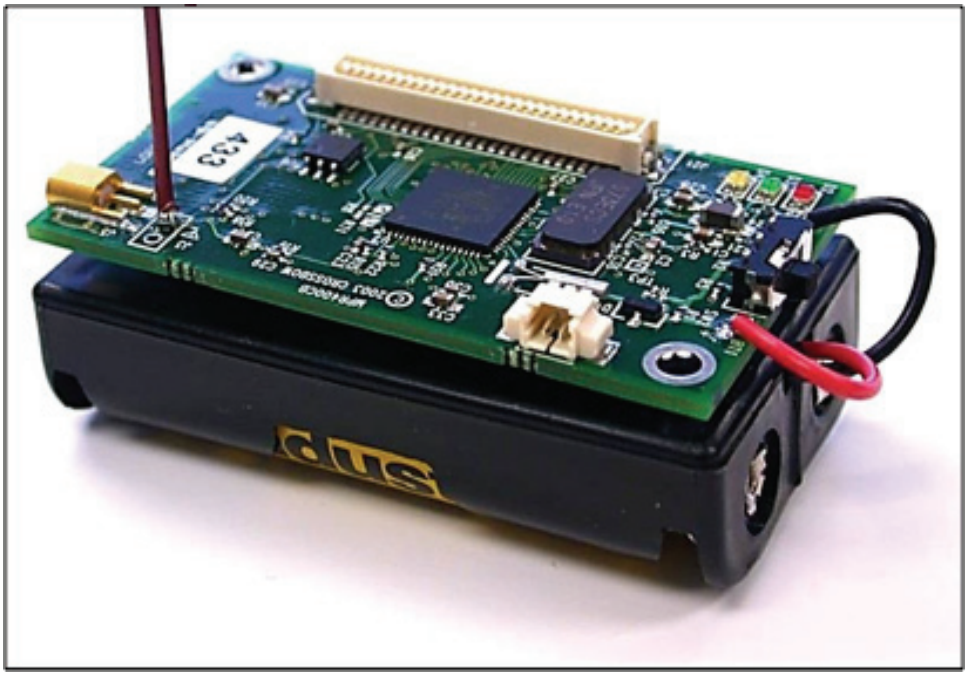
www.j4know.com

Integrated Microsensors) الذي رُمز له بالرمز (LWIM). وقد تمّ المشروع في جامعة كاليفورنيا (UCLA) بمدينة لوس أنجلوس بالولايات المتحدة الأمريكية، وموَّلت المشروع وكالة مشروعات البحوث المتقدّمة التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية (DARPA)، وقد ركّز المشروع على تصنيع أجهزة إلكترونيّة صغيرة الحجم وموفّرة في الطاقة ومزوّدة بحسّاسات مختلفة، إلى جانب تكوين شبكة حسّاسات لاسلكيّة باستخدام موجات الراديو بين تلك الأجهزة الإلكترونيّة التي تم تصنيعها.

بعد سنوات قليلة من المشروع الأوّل ظهر مشروع آخر في جامعة (UCLA) أيضًا، وهو مشروع شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة المتكاملة (Wireless Integrated Network Sensors) أو اختصارًا (WINS). قام هذا المشروع على يد مجموعة من الباحثين في جامعة (UCLA) بالتعاون مع مركز روكويل للعلوم (Rockwell Science Center)، وكان الهدف من المشروع تصنيع عُقَد حسّاسات لاسلكيّة دقيقة [٢٧]. ثم قامت بعد ذلك بوقت قصير عدّة مشروعات بحثية مماثلة في جامعات مختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية، منها معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT)، وجامعة بيركلي (Berkeley)، وجامعة كاليفورنيا الجنوبية (USC).

صنّع الباحثون في جامعة بيركلي عُقَد حسّاسات لاسلكيّة أسْمَوْها العُقَد الدقيقة (Motes)، وصُنِّعت هذه العقد بصورة تجاريّة وأصبحت متاحة في الأسواق، بالإضافة إلى ذلك تمّ عمل برنامج نظام سُمِّيَ (TinyOS)؛ أيّ نظام التشغيل الصغير؛ ليكون هذا البرنامج هو برنامج النظام (Operating System) الخاص بتشغيل تلك العُقَد. ويظهر في (Error! Unknown switch argument.) صورة لعُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة التي صُنِعَتْ في جامعة بيركلي، المسمّاة "ميكا ٢" (Mica٢). وامتازت هذه العقدة الدقيقة بكونها سهلة البرمجة، ومتكاملة في أداء وظيفتها، ومنخفضة التكلفة إلى حدّ ما، كما أنّها لعبت دورًا بارزًا في الثورة العلميّة الخاصّة بتصنيع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة واستخدامها، ومن ثمّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

www.j4know.com



شكل ٣ (صورة للعقدة اللاسلكيّة "ميكا ٢") [١٠٨]

ومع بدايات القرن الحادي والعشرين زاد الاهتمام بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة مطّردة في كلٍّ من مجال البحث العلمي، وكذلك مجال الصناعة؛ إذ زاد عدد الأوراق البحثيّة العلميّة التي نُشرت عن شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ولم يعدْ موضوع شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة جزءاً من المؤتمرات العلمية الخاصة بالشبكات عمومًا، أو تلك المقتصرة على الشبكات اللاسلكيّة فحسب، بل تعدى الاهتمام بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة إلى حدٍّ تنظيم كثير من المؤتمرات التي تختصّ بالأبحاث القائمة على هذا النوع من الشبكات دون غيرها، وأصبحت المجلّات والدوريّات العلميّة تُصدر أعداداً خاصة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ثم ما لبث الأمر أنْ تطوّر إلى ظهور بعض المجلّات الدوريّة التي تقتصر على شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة[٤]

٤- ومن أمثلة تلك المجلات العلميّة الدوريّة المتخصّصة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة:

- Wireless Sensor Network Journal
- International Journal of Sensor Networks
- International Journal of Distributed Sensor Networks
- International Journal of Research and Reviews in WSN
- International Journal of RFID &WSN

www.j4know.com

فقط. كما كان لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة نصيبٌ من الكتب المؤلَّفة التي تناول كلّ منها هذه الشبكات من منظور مختلف، إلّا أنّ غالبية هذه الكتب كانت مؤلفةً باللغة الإنجليزية[٥].

هذا الاهتمام العلميّ بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة قابله اهتمام كبير بصناعة هذه الشبكات، وظهر العديد من الشركات المصنّعة لهذا النوع من التكنولوجيا؛ فتعدّدت أنواع الحسّاسات المستخدمة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، كما تعدّدت أنواع المعالج المستخدم وسرعاتها، وحجم الذاكرة، ومدى الإرسال، ونوع البطاريّة، وأضيف لبعض العُقَد إمكانيّة تحديد المكان، وغيرها من التفاصيل التي ستُذكر لاحقًا في الجزء الخاصّ ببناء العُقَد الدقيقة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. صارت عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة أصغرَ حجمًا، وأقل تكلفةً، وأكثر كفاءة من حيث سرعة المعالج، وحجم الذاكرة، وطول عمر البطاريّة. ولم يقتصر التطوير على المُعدّات فحسب، بل امتدّ كذلك للبرمجيات، سواء تلك الخاصة بعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ذاتها أم تلك الخاصّة بمحاكاة الشبكات؛ فظهر العديد من نُظُم التشغيل المخصّصة لعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة مثل: (TinyOS) [١٣٠]، و(Contiki) [١٢٧]، و(LiteOS) [١١٩]، وكذلك بعض برامج المحاكاة المخصّصة لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة مثل: (TOSSIM) [١٠٥] و(COOJA) [١٢٦]، بالإضافة إلى وجود تطوير لبرامج المحاكاة التقليدية، مثل: (NetSim) [١٠٢]، و(OpNet) [١٢٣]، و(OMNet++) [١٢٢]، و(QualNet) [١٢٤]، و(ns-2) [١١٢]، و(ns-3) [١٢١] بحيث يمكن أن تحاكي شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. كما تمّ عمل العديد من المواصفات القياسية لبروتوكولات الإرسال المخصصة لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ومنها على سبيل المثال: (IEEE 802.15.4) [١١١]، وزيجبي (ZigBee) [٨٦]

٥- ومن أمثلة الكتب المؤلّفة باللغة الإنجليزية عن شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة:

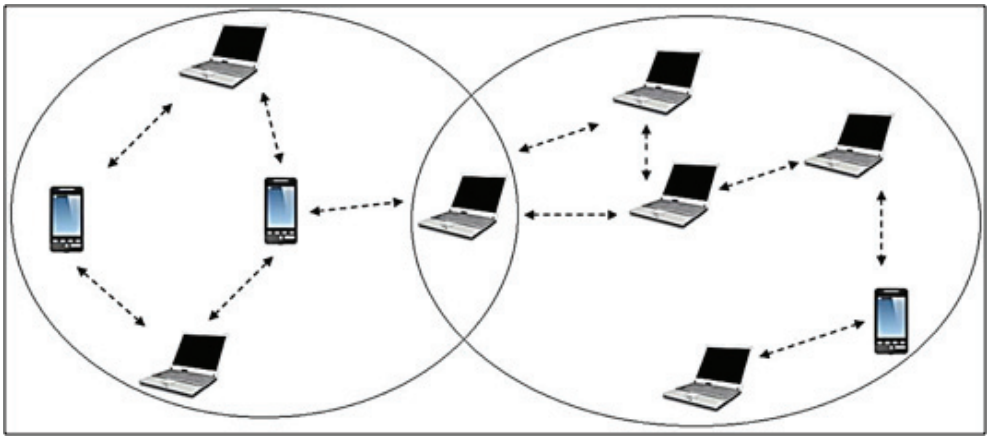
- Networking Wireless Sensors [٩]
- Ad Hoc & Sensor Networks. Theory and Applications [١٢]
- Security for Wireless Sensor Networks [٢٣]
- Wireless Sensor Networks [٢٥]
- Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks[٣٢]
- Sensor Network Protocols [٣٥]
- Sensor Networks and Configuration [٧٥]
- Wireless Ad Hoc and Sensor Networks [٧٩]
- Mobile. Wireless. and Sensor Networks [٨٠]

www.j4know.com

[١٣٣]، وواي فاي (WiFi) [١٣٢]، و(DigiMesh) [١٠٦].

٣.١ - موازنة بين شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة

تتكـوّن شبـكات الحاسبـات الجوّالـة الخاصّـة (Mobile Ad-hoc Networks) أو (MANET) من جهازين أو أكثر من أجهزة الحاسوب، كلّ جهاز منها مزوَّدٌ بجهاز للإرسال والاستقبال للاتّصال لاسلكيًّا مع الأجهزة الأخرى؛ بحيث تستطيع الأجهزة أن تنقل البيانات وتتبادل الخدمات فيما بينها. يمكن لكلّ جهاز في الشبكة إرسال المعلومات للأجهزة الأخرى في الشبكة جميعها، سـواءٌ أكان ذلك بطريقة مباشرة للأجهزة المحيطة به، أم كان الإرسال من طريق غير مباشر للأجهزة البعيدة عنه، وذلك من خلال الأجهزة الموجودة في المسار بين الجهازين [١٣]. يوضح (شكل ٤) صورة لشبكة حاسبات جوّالة خاصّة.



شكل ٤ (شبكة حاسبات جوّالة خاصّة تتكون من شبكتين فرعيّتين) [١٣٦]

تتميّز شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّـة كذلك بكون الأجهزة فيها جوّالة، فلكلّ جهاز من أجهزة الشبكة حريّة الحركـة داخل منطقة محدّدة، تمثّل هـذه المنطقة حدود الشبكة، ونتيجة لحركة الأجهزة داخل الشبكة بصورة مستمرّة، تتغير بنية الشبكة، ومن ثم فإنّ تحديد مسـارات الإرسال من جهاز لآخر يتطلّـب أن يكون كلّ جهاز في الشبكة قـادرًا على اكتشاف حضور أيٍّ من الأجهزة الأخرى في المنطقة المحيطة به أو غيابها، وذلك حتّى يتسنّى للأجهزة

www.j4know.com

التواصل فيما بينها لتبادل المعلومات والخدمات [١٥]. هذا وتُعدّ شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة ذاتيّـةَ الإدارة والتكيّف؛ إذ إنها تفتقر ثبات البنـاء الهيكلي للشبكة؛ بسبب الحركة الدائمة للأجهزة داخل الشبكة.

تُعدّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة نوعًا خاصًّا من شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة؛ إذ تشترك شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة مع شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة في العديد من الخواصّ المشتركة، إلّا أنّ أهمّ أوجه التشابه بينهما هو أن كلتا الشبكتين ليس لها بُنية تحتية ثابتة ومحدّدة، كما تشتركان في عـدم وجوب الإرسال بصورة مباشرة من عُقْدة إلى أخرى، لكنْ يُمكِن أن يتم الإرسال من خلال العُقَد التي بينهما عن طريق قَفَزات متلاحقة من عُقْدة إلى أخرى، وكذلك في كون الإرسال والاستقبال يتمّـان في كلتا الشبكتين لاسلكيًّا [٧٨]. وفي مقابل أوجه التشابه المتعدّدة بين الشبكتين فهنـاك العديد من أوجه الاختلاف بينهما، التي تجعل التعامل مع كلّ واحدة منهما يختلف اختلافًا كبيرًا عن التعامل مع الأخرى، وسنعرض أهمّ تلـك الاختلافات التي يجـب مراعاتها وأخذهـا في الحسبان عند التعامـل مع شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

١.٣.١ - الأجهزة والتطبيقات

عادة ما تكـون الأجهزة المستخدمة في شبـكات الحاسبات الجوّالـة الخاصّة هي أجهزة الحاسوب المحمـول (Laptop) وقـد تُستخدَم أحيانًـا أجهزة المساعد الرقمـي الشّخصيّ (Personal Digital Assistant) أو (PDA)، وهي تختلف بدورها بصورة كليّة من حيث البناء والاستخدام عـن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي تمثّـل مكوّنات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. تمتلك أجهزة الحاسوب المحمول إمكانـات أكبر بكثير من تلك المتوافرة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من حيث: سرعة المعالج وقدرته، وحجم الذاكرة، وطول عمر البطارية، إضافة إلى ذلك فإنّ التطبيقات الخاصّة بشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة تعتمد في الأساس على نقل البيانات من جهاز محمول إلى آخر، وتعتمد كذلك على توفير الخدمات بين الأجهزة المختلفة، في حين تقوم التطبيقات في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة على قياس بعض العوامل الطبيعيّة الموجودة في البيئة التي وضِعت فيها شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة وتسجيلها.

www.j4know.com

٢.٣.١ - الاستخدام في تطبيق محدّد

قدّمت كلّ مِنْ تكنولوجيا صناعة الحسّاسات، وتكنولوجيا الحاسوب، وتكنولوجيا الاتصالات عددًا كبيرًا من الحلول التقنية، كلّ في مجاله، وبالنظر إلى كلّ تلك الحلول التطبيقيّة المقدّمة من التقنيات الثلاث، فإننا نصل إلى عدد كبير جدًا من التشكيلات المختلفة، ما يتيح تنفيذ العديد من السيناريوهات المختلفة القابلة للتطبيق. فعلى سبيل المثال يمكن قياس عدّة عوامل طبيعية من تلك الموجودة في البيئة المحيطة من ضمن مجموعة كبيرة من العوامل، التي تختلف طبيعة قياساتها ومداها، ومعدّل تغيرها، ونحو ذلك، وقد تحتاج الشبكة المطلوبة إلى العديد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ما يجعل كثافتها في الشبكة عالية، في حين تحتاج شبكة أخرى إلى القليل من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة. كما توجد حلول مختلفة في تكنولوجيا الحاسوب تبعًا لسرعة المعالج، ولحجم الذاكرة المستخدمة، ونحوهما، وأخيرًا قَدّمت تكنولوجيا الاتصالات مدىً واسعًا من الحلول من نقل المعلومات لمسافات قصيرة جدًا تقاس بعدّة أمتار إلى أخرى بعيدة المدى تقدر بالكيلومترات، وهذه الاختلافات والتباينات أدّت بدورها إلى استحالة وجود تصميم واحد لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ بحيث يناسب كل تلك الاحتمالات المختلفة، وأصبح شعار "حلّ واحد يناسب الجميع" أمرًا مستبعدًا في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لذلك فقد صارت الحلول المُقدّمة من تحديد مسارات الإرسال والتحكم في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وغيرِها من الأمور التقنية تتغيّر بتغيّر ظروف عمل الشبكة؛ ولهذا ظهرت حلول مخصّصة لكلّ تطبيق، بحيث يُقدَّم حلّ أو مجموعة حلول محدّدة لكلّ تطبيق، عوضًا عن الحلول العامة التي تُقدَّم لشبكات الحاسوب التقليديّة، سواء أكانت سلكيّة أم لاسلكيّة.

٣.٣.١ - التفاعل مع البيئة المُحيطة

تختلف شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن الشبكات عامّة وعن شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة في كونها تتفاعل مع البيئة المحيطة، من حيث قراءة معلومات نابعة من تلك البيئة مثل: درجة الحرارة وغيرها وتسجيلها، وهذا يجعلها مختلفة عن الشبكات التقليديّة التي يخضع نقل البيانات فيها للعامل البشريّ الذي يكون مسؤولًا بصورة مباشرة أو غير مباشرة

www.j4know.com

عن تبادل المعلومات ونقلها من حاسوب إلى آخر. ونذكر هنا مثالًا واضحًا على اختلاف شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن غيرها، وهو أنّ معدَّل نقل البيانات في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عادة ما يكون منخفضًا وفي أوقات زمنيّة متباعدة، ويحدث ذلك عندما تكون العوامل التي يتمّ قياسها مستقرّة أو تتغيّر بصورة بطيئة، وينعكس الوضع في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عندما يحدث أمرٌ طارئ في البيئة المحيطة فيصبح التغيّر سريعًا، ويرتفع معدّل نقل المعلومات بصورة كبيرة، وهذه التغيرات عادة ما تحدث بصورة مفاجئة لا يمكن توقّعها مسبقًا، مثلما يحدث عند نشوب حريق ونحوه، وهي ظاهرة معروفة في نظم الزمن الحقيقي، ويطلق عليها اسم إنذار العاصفة (Storm Alarm) في حين يكون معدّل إرسال البيانات في شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة مُنتظمًا، أو على الأقل يتّبع نمطًا محدّدًا يمكن استنباطه بصورة مسبقة، ومن ثمّ يمكن تنظيم الإرسال على أساس ذلك.

٤.٣.١ - نطاق الشّبكة

تقصد أبحاث شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة الحاليّة إلى استخدام العديد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة بأرقام تصل إلى الآلاف، بل إلى عشرات الآلاف، وهو ما يختلف كليًّا مع طبيعة شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة التي لا تزيد غالبًا على بضعة مئات من أجهزة الحاسوب المختلفة. كما تختلف المساحات التي تغطّيها الشبكة؛ إذ يمكن لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة أن تغطّيَ مساحات شاسعة تزيد بكثير على المساحات التي تغطّيها شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة؛ وذلك بسبب إمكانيّة استخدام عدد كبير من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ولذلك فإنّ الحلول التقنيّة المقدّمة لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة – من حيث المساحة وعدد الأجهزة – تختلف اختلافًا كبيرًا عن تلك المقدّمة لشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة.

٥.٣.١ - الطاقة

بما أنّ إمدادات الطاقة لعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة عادة ما تكون محدودة ونادرة، بل وفي أحيان كثيرة تكون مستحيلة؛ فقد أصبح معدَّل استهلاك الطاقة هو أحدَ أهمّ المقاييس في

www.j4know.com

الحكم على كفاءة عمل شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وكثيرًا ما تكون البطّاريّة المستخدَمة في العُقَد غيرَ قابلة للشّحن، ومن ثمّ فإنّ الحاجة تكون ماسّة لإطالة عمر عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يؤثر تأثيرًا عميقًا في بنية شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. في المقابل تعمل بطاريات أجهزة الحاسوب المستخدَمة في شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة لمدّة زمنيّة أطول، وتكون ذات طاقة كهربائية أعلى، وعادة ما يمكن إعادة شحنها بسهولة عند توافر مصدر كهربائي.

٦.٣.١ - تغيّر شكل الشبكة

تتّفق شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة مع شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة في احتياج كلّ منهما إلى إعادة هيكلة الشبكة نتيجة تغيّر وضع العقد المختلفة في كلّ منهما، لكنْ يبقى هناك فارق واضح بينهما، وهو أنّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة يتغيّر فيها وضع الشبكة تبعًا لفقد عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة نتيجةً لنفاد الطاقة في الغالب، في حين تتغيّر الشبكة في الحاسبات الجوّالة الخاصّة وفق حركة أجهزة الحاسوب في الشبكة [٦٢]. وهذا الاختلاف يستلزم وجود حلول تقنية مختلفة لكلّ منهما، بالإضافة إلى ذلك تحتاج عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى تحديد موقعها الجغرافي حتّى يمكن معرفة المنطقة أو المكان الذي تأتي منه القياسات.

٧.٣.١ - الاعتماديّة وجودة الخدمة

يختلف مفهوما: جودة الخدمة (Quality of Service) والاعتمادية (Dependability) في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عنهما في شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة؛ إذ يختلف توصيف الخدمة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة اختلافًا كبيرًا باختلاف التطبيق الذي تُستخدَم فيه الشّبكة. ففي بعْضِ الحالات يَكُون وصول حزمة البيانات من العُقَد المرسِلة إلى المحطّة الرئيسة كافيًا، في حين أنّه في حالات أخرى يحتاج الأمر إلى مُتَطلَّبات عالية من التوّثق في البيانات المرسَلة، وهو ما يعني أنّ نسبة تسليم حزم البيانات ليست هي مقياس الكفاءة الوحيد الذي يُعَوَّل عليه في هذه الحالة، بل الأهم من ذلك هو كمّيّة المعلومات عن الأشياء أو المناطق الخاضعة للدراسة والتي يمكن استخلاصها في المحطة أو المحطات الرئيسة التي تستقبل المعلومات ونوعيتها. بالإضافة إلى أن كميّة المعلومات التي تم الحصول عليها ونوعيتها

www.j4know.com

يجب ألّا يُنْظَر إليها بمَعْزِل عن الطاقة المستهلَكة للحصول على تلك المعلومات.

٨,٣,١ - التَّمحوُر حول البيانات

تتطّلب شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة في كثير من السيناريوهات المطروحة نشر المزيد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وأصبح هذا الأمر متاحًا نظرًا إلى انخفاض تكلفة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، كما صار مطلوبًا بشدّة لمحدوديّة الطاقة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة. كما هو واضِحٌ مِنْ شرح وظيفة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة فإنّ أهمّية العُقْدة الواحدة تلاشت بصورة كبيرة موازنة بأهميّة الشبكة بصورة كلّية، وهذه الصورة تتنافى مع الصورة التقليديّة لشبكات الحاسبات؛ إذ تكون خدمة المستخدم هي الهدف الأول للشبكة والمحور الذي تدور حوله وتعمل من أجله. تغيرت هذه الصورة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وأصبحت البيانات والمعلومات التي يتمّ الحصول عليها بواسطة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة هي المحور الذي وضعت من أجله الشبكة. هذا التحوّل والتغيّر في محور الأهمية يتطلّب تغييرًا جذريًّا في الحلول التقنية المقدَّمة للشبكة؛ بحيث يتحوّل الهدف من التركيز على توفير الخدمة للعقدة، إلى التركيز على الحصول على البيانات، ويتبدّل المحور من مركزيّة العقدة إلى مركزيّة البيانات.

٩.٣.١ - بساطة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

نظرًا لطبيعة صغر حجم عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وقدرتها المحدودة على إجراء عمليات معالجة البيانات وتخزين المعلومات، بالإضافة إلى محدوديّة الطاقة التي تمتلكها، فقد تطلّب ذلك أنْ يكون نظام التشغيل والبرمجيّات الخاص بها أبسط وأسهل بكثير من تلك المستخدمة اليوم في أجهزة الحاسوب المكتبي (Desktop) أو الحاسوب المحمول ذي القدرات الكبيرة، مقارنة بتلك الموجودة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهذه البساطة قد تتطلّب كسر بعض القواعد التقليدية في البناء الطبقي لشبكات الحاسبات، ليتناسب مع بساطة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة.

١٠.٣.١ - خاصيّة التّجوال

تتسبّب الحركة الدائمة لأجهزة الحاسوب في تغيير دائم في شكل بنية الشبكة في شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، وهو ما يتطلّب تغييرًا مستمرًا في مسارات الإرسال في الشبكة،

www.j4know.com

وتظهر هـذه المشكلة أيضًا في شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة في حالـة إذا كانت بعض عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة أو جميعها تتحـرّك في نطاق الشبكة، إلا أنّه يجـدر هنا الإشارة إلى أمرين إضافيين تختصّ بهما شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة:

الأمر الأوّل خاصّ بوجوب تحديد المكان الذي سُجّل عنده قياس أحد العوامل المحدّدة، ومثال ذلك تطبيق اكتشاف عمليات التوغّل في مساحة محدّدة تغطّيها الشبكة. فنجد في هذا التطبيق أنّ شبكة الحسّاسـات اللاسلكيّة لا يواجهها تحدّي اكتشـاف عمليّة التوغّل والتأكّد من صدقها، وتحديد مكان المتوغّل فحسب، بل عليها – بالإضافة لما سبق – أن تحدّد معدّل تغيّر هذا المكان واتجاهه، ويتمّ ذلك بنشر المعلومات المسجلَّة عن عملية التوغّل من خلال عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة بالقرب من نطاق اكتشاف هذه العمليّة.

الأمر الثاني يختصّ بالمحطّة – أو المحطات الرئيسة حال تعدّدها – التي تجمع المعلومات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يمكن لتلك المحطّـة أنْ تكون جوّالة هي أيضًا، وهذا من حيث المبدأ لا يختلف عن حركة العقدة بصورة عامّة في شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، لكنّه – بلا شك – قد يسبّب العديد من المشكلات في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، خاصّة مع بروتوكولات الإرسـال التي تكون مُصمّمة ومخصّصة لشبـكات حسّاسات لاسلكيّة تعتمد على محطّات رئيسة ثابتة.

أخيرًا، يمكننا أن نلخّصَ أوجه التشابه والاختلاف بين شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة وشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة في أنّ كِلا النوعين يتّفق في العديد من النقاط المشتركة، إلّا أنّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تدعم العديد من التطبيقات المختلفة والمتباينة، بالإضافة إلى تحوّل محور التركيز من خدمـة العُقدة إلى المعلومة التي نحصـل عليها من العُقدة. كلّ هذا بدوره يضع العلماء والباحثين أمام تحدٍّ جديد لتوفير حلول خاصة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، كمـا أنّ عليهم أيضًا توفير العديد من الحلول لـكلّ تطبيق من تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، كلٌّ على حِدَة.

www.j4know.com

الفصل الثّاني

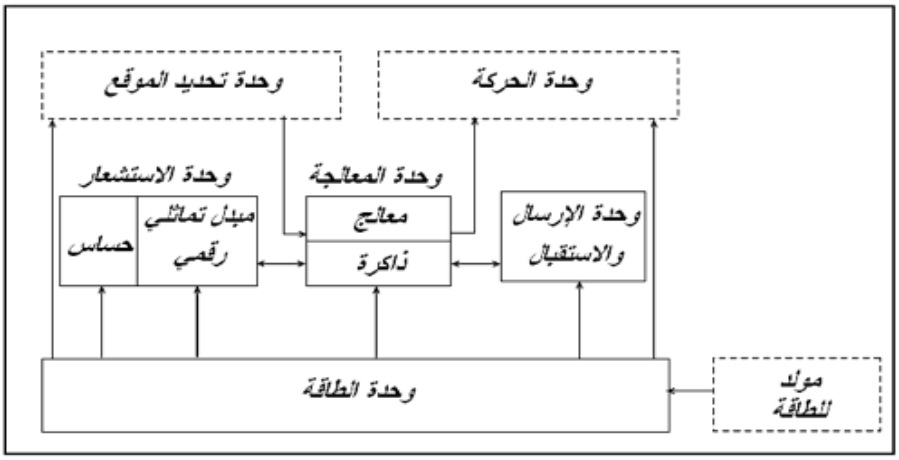
بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

يتناولُ هذا الفصل عمليّة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي تمثّل حجر الزاوية في بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. يبدأ الفصل بالحديث تفصيليًا عن مكوّنات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وأنواعها المختلِفة، ثم نتطرّق إلى الحديث بعد ذلك عن التحدّيات التي تواجه بناء تلك العُقَد، والعوامل الواجب أخذها في الاعتبار عند البناء.

١.٢ - بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة

يُعدّ بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة واحداً من أهمّ الركائز التي تقوم عليها شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لذلك فقد حاز بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة كثيرًا من الاهتمام في مجال البحث العلمي، سعيًا وراء تحديث هذا البناء وتطويره.

تتكوّن عُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة من أربعة أجزاء رئيسة يلزم وجودها في كلّ عقدة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهناك عدّة أجزاء أخرى إضافية قد تتوافر في بعض العُقَد دون الأخرى، وذلك وفق الحاجة إلى تلك الأجزاء. يظهر في (شكل ٥ مخطّط توضيحي لبناء عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة، التي سيتمّ شرح أجزائها المختلفة بالتفصيل.



شكل ٥ (بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة) [١٣٦]

تتكوّن عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة من أربعة أجزاء رئيسة تمثل أساس البناء لهذه العُقَد.

www.j4know.com

هذه الأجزاء هي: وحدة الاستشعار (Sensing Unit)، ووحدة المعالجة (Processing Unit)، ووحدة الإرسال والاستقبال (Transceiver Unit)، وأخيراً وحدة الطاقة (Power Unit).

١.١.٢ - وحدة الاستشعار

تتكوّن وحدة الاستشعار مِنْ مجموعة من الحسّاسات التي تقوم بقياس عامل واحد أو مجموعة من العوامل الطبيعيّة من البيئة المحيطة بعُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة، ويحوِّل كلّ حساس من الحسّاسات الموجودة القيمة التي تمّ قياسها إلى فرق جهد كهربائي يعبّر عن هذه القيمة، ثمّ يتولى بعد ذلك المحوّل التماثلي الرقمي (Analog-to-Digital Converter) أو(ADC) الموصل بالحسّاسات تحويل هذه القيمة إلى إشارة رقميّة يمكن للدوائر الرقميّة المختلفة الموجودة على وحدة عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة التّعامل معها بطرق مختلفة، كما سيتم توضيحه في النقاط القادمة. لقد صُنّع العديد من أنواع الحسّاسات المختلفة لقياس الكثير من العوامل الطبيعيّة المتعدّدة مثلما ذكرناه مفصّلًا في الفصل الأول، إلّا أنّ وحدة الاستشعار لا تزال تمثّل المُعَوِّق الرئيس في سرعة عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ويرجع ذلك إلى كون سرعة نقل البيانات من خلال الحسّاسات تقلّ كثيرًا عن سرعة نقل البيانات، من خلال بقيّة أجزاء وحدة عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة.

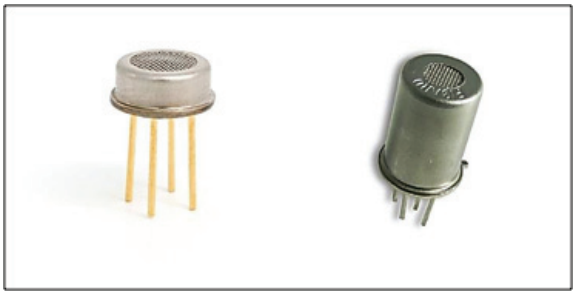
ويُمْكِنُ تقسيمُ أنواع الحسّاسات ثلاثة أنواع: النّوع الأوّل هو الحسّاسات الخاملة الثابتة، وهي التي تسجّل قياسًا لأحد العوامل الطبيعيّة لا يحتاج قياسه إلى توجيه الحسّاس إلى اتّجاه محدَّد؛ لذلك فهي ثابتة، كما أنّها لا تحتاج إلى التفاعل مع البيئة المحيطة للحصول على المعلومة المطلوبة؛ لذا يطلق عليها خاملة، ومن أمثلة هذا النوع من الحسّاسات تلك التي تُستخدَم في قياس كلٍّ من: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وشدّة الصوت، وشدّة الإضاءة، ونحو ذلك. وهذا النوع من الحسّاسات هو أكثر أنواع الحسّاسات استخدامًا في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الوقت الحالي. النوع الثاني هو الحسّاسات الخاملة ذات الاتّجاه المحدّد، وهي مثل سابقتها لا تحتاج إلى التفاعل مع البيئة المحيطة، لكنّ من ناحية أخرى تختلف فيها نتيجة القياس تبعًا لاتّجاه الحسّاس، ومن ثمّ فإنّه يجب توجيه الحسّاس لاتّجاه محدّد لقياس العامل

www.j4know.com

الطبيعي المطلوب، ومثال هذا النوع من الحسّاسات: الكاميرا؛ إذ يجب وضعها في اتّجاه محدّد لالتقاط الصورة المطلوبة، ولهذا النوع من الحسّاسات بعض الاستخدامات في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا أنّه ليس منتشرًا مثل النّوع الأوّل. أمّا النوع الثالث فهي الحسّاسات الفعّالة التي تحتاج إلى التفاعل مع البيئة المحيطة لقياس القراءة المطلوبة، مثل الرادار؛ إذ يحتاج الرادار لِبَثّ أشعّة في اتّجاه محدَّد لاكتشاف المنطقة المحيطة به، وهذا النّوع من الحسّاسات ليس له استخدام فعلي في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الوقت الحاضر، ويرجع ذلك إلى احتياج هذا النوع إلى بعض التقنيات العالية الخاصّة بمعالجة البيانات، وحجم الذاكرة، والطاقة الكهربائيّة المتوافرة في البطاريّة، وغيرها من التقنيات التي لا تتوافر في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الوقت الحالي.

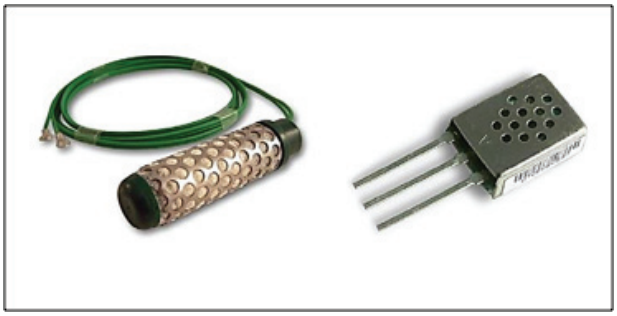
من الأمور التي يجب أخذها في الاعتبار في الحسّاسات الموجودة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة هو مدى القياس لدى الحسّاس، أيْ تحديد المساحة المحيطة بالحسّاس التي يمكن أن يقيس الحسّاس فيها العامل الطبيعي المطلوب. كما يجب أن يُراعي كذلك تغيّر القيمة التي يتم قياسها بتغير المسافة بُعدًا أو قُربًا من الحسّاس.

يوضّح (شكل ٦) صورة لحسّاسين من الحسّاسات المُستخدمَة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، يُستخدَم الأوّل في قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجوّ، في حين يُستخدَم الثاني في قياس نسبة الأوزون، وكذلك يظهر في (شكل ٧) صورة حسّاس يُستخدَم في قياس نسبة الرطوبة في الجوّ، وآخر يُستخدَم كذلك في قياس نسبة الرطوبة ولكنْ داخل تربة الأرض.



شكل ٦ (صورة لحساس يُستخدَم في قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو (يمين)، وآخر يُستخدَم في قياس نسبة الأوزون (يسار)) [١٠١][١٠٣]

www.j4know.com



شكل ٧ (صورة لحسّاس يُستخدَم في قياس نسبة الرطوبة في الجو (يمين)، وحسّاس آخر يُستخدَم في قياس نسبة الرطوبة داخل تربة الأرض (يسار)) [٩٩][١٣١]

٢.١.٢ - وحدة المعالجة

تتكوّن وحدة المعالجة في عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة من: وحدة معالجة مركزية (Central Processing Unit)، ووحدة ذاكرة (Memory). تمثّل وحدة المعالجة المركزية الدور الرئيس في عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ تستقبل البيانات من المحوّل التماثلي الرقمي، ثمّ تُعالج البيانات، كما يمكنها استخدام وحدة الذاكرة في حفظ البيانات، وهي المسؤولة عن إعطاء الأوامر لتنفيذ عمليّات إرسال المعلومات من ناحية، وعن تحديد حالة العُقْدة من تشغيل أو توقف، تبعًا للحاجة، ووفقًا لكميّة الطاقة المتبقيّة في البطارية من ناحية أخرى. وتحدّد وحدة المعالجة المركزية بصورة كبيرة قدرة العقدة على معالجة البيانات، كما يمثّل استهلاكها للطاقة الجزء الأكبر من طاقة عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة، ويوجد أنواع مختلفة من وحدات المعالجة المركزيّة التي يمكن دمجها في عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يوجد كثير من أنواع المعالجات الدقيقة (Microprocessor)، والمتحكّمات الدقيقة (Microcontroller)، ومصفوفات البوابات المنطقيّة القابلة للبرمجة (Field-Programmable Gate Array) أو (FPGA)، وكذلك الدوائر المتكاملة المُحدّدة التطبيق (Application-Specific Integrated Circuit) وتُسَمَّى اختصارًا (ASIC) [٦٨].

تُعدّ المعالجات الدقيقة ذات الأغراض العامة – كتلك التي تستخدم في أجهزة الحاسوب – أحد الاختيارات المتاحة للاستخدام بصفتها وحدةَ معالجةٍ مركزيةٍ في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا أنّها تستهلك كثيرًا من الطاقة عند استخدامها، ما لا يتناسب مع طبيعة عُقَد

www.j4know.com

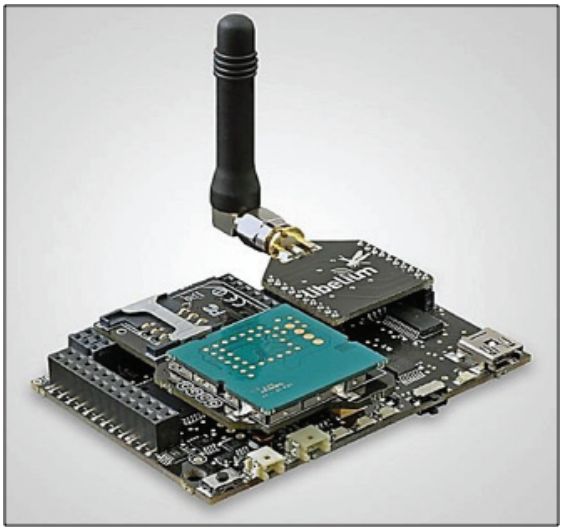
الحسّاسات اللاسلكيّة ذات الطاقة المحدودة.

تمتاز المتحكّمات الدقيقة – المتوافرة حاليًّا بكثرة – بأنّها لا تحتوي وحدة معالجة مركزية فقط، بل تحتوي أيضًا ذاكرة مؤقّتة وذاكرة أخرى ثابتة، ومحوّلًا تماثليًّا رقميًّا، بالإضافة إلى عدّادات ومؤقتات رقميّة، ويوجد العديد من الاختيارات المتوافّرة من المتحّكمات الدقيقة التي تتراوح سعتها بين أربعة إلى اثنين وثلاثين بت، كما يتنوّع فيها حجم الذاكرة المؤقتة، والذّاكرة الثابتة. تمتاز المتحكّمات الدقيقة بسهولة توصيلها بالأجهزة الأخرى مثل أجهزة الحسّاسات. ليس هذا فحسب، بل إنّ مجموعة التعليمات والأوامر الخاصّة بهذه المتحكّمات الدقيقة لديها القدرة على التعامل مع تطبيقات الوقت الحَرِج، التي يلزم فيها اتّخاذ القرار وتنفيذه خلال وقت محدَّد. كما يمكن برمجة المتحكّمات الدقيقة بسهولة وحريّة ما يجعلها الأكثر مرونةً من بين الخيارات المتاحة. أمّا أهمّ ميّزات المتحكّمات الدقيقة في ما يتّصل باستخدامها في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، فهو انخفاض استهلاكها للطاقة الكهربائية، بل وقدرتها كذلك على التنقل بين حالتي التشغيل والإيقاف ما يزيد من قدرتها على توفير الطاقة. يمثّل (شكل ٨) صورة لإحدى عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي يظهر في منتصفها وحدة المتحكم الدقيق التي تحتوي وحدة المعالجة المركزية، ووحدة ذاكرة وصول عشوائي (Random Access Memory) أو (RAM)، وذاكرة ثابتة (فلاش أو وميضيّة) أي (Flash Memory)، وذاكرة ثالثة للقراءة فقط، قابلة للمسح والبرمجة كهربائيًا (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) أو (EEPROM).

أمّا مصفوفات البوّابات المنطقية القابلة للبرمجة (FPGA) فمع مرونتها وقدرتها على التواؤم مع كثير من التطبيقات المختلفة، وإمكانيّة إعادة برمجتها أثناء التشغيل، إلّا أنّ استخدامها في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يواجهه مشكلتان رئيستان: الأولى هي استهلاكها العالي للطاقة؛ ما يجعل استخدامها في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة غير مناسب؛ بسبب محدوديّة الطاقة في تلك العُقَد، والمشكلة الثانية هي عدم توافق كثير من مصفوفات البوّابات المنطقية القابلة للبرمجة مع لغات البرمجة التقليدية، كلغة السي، بالإضافة إلى أنّ معدّل

www.j4know.com

تغيير البرنامج المستخدم في المتحكّمات الدقيقة يكـون أسرع بكثير من مثيله في مصفوفات البّوابات المنطقيّة القابلـة للبرمجة، وهذا لا يعني – بطبيعة الحـال – استبعاد مصفوفات البوّابات المنطقيّة القابلة للبرمجة من الاستخدام في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، لكنّ الأمر يحتاج إلى مزيد من التحديث والتطوير من أجل الاستفادة من إمكانات تلك المصفوفات.



شكل ٨ (صورة لعقدة حساسات لاسلكيّة ويظهر في المنتصف وحدة المعالجة المركزية) [١١٤]

تمثّل الدوائر المتكاملة المُحدّدة التطبيق (ASIC) أحد الخيارات المتاحة للاستخدام في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهي وحدات معالجة مركزيّة مصمَّمة لتطبيقات محدّدة، كتلك الوحدات المستخدمـة في مسيّر الشبكة (Router) أو مُـوزّع الشبكة (Switch) وفي مقابل الاستفادة من قُدْرة الشّرائح الإلكترونيّة ذات التّطبيقات المحدَّدة على الأداء العالي، وكذلك خاصيّة توفير الطاقة، فإنّ استخدام تلك الشرائح في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يمثّل خيارًا أقـلّ مرونةً؛ لكونها مخصّصة للقيـام بوظائف محدّدة، كما أنّ هذا مـن النوع من الشرائح الإلكترونيّـة يكون أعلى تكلفةً من المتحكّمـات الدقيقة؛ لأنّها تعتمد بصـورة كليّة على العتاد (Hardware) في حين تعتمد المتحكّمات الدقيقة بصورة كبرى على البرمجيّات (Software).

ويبرز هنا تساؤل مهمّ عن استخدام الشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المحددة في عُقَد

www.j4know.com

الحسّاسات اللاسلكيّة؛ فالمنطق يقول بأفضليّتها؛ لأنّها ذات وظائف وتطبيقات محدّدة، وهو ما يتوافق مع خاصيّة استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في تطبيقات محدّدة كذلك، فلماذا يُفضَّل إذن استخدام المتحكّمات الدقيقة على استخدام الشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المحددة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؟ والإجابة عنْ هذا السؤال تكمن في كون ميزات استخدام المتحكّمات الدقيقة لا تقتصر على عمليات معالجة البيانات فقط، بل تمتدّ لتشمل مرونتها في التوصيل بالأجهزة الأخرى، وسهولة استخدامها، وانخفاض سعرها. كما هو الحال مع مصفوفات البوّابات المنطقية القابلة للبرمجة، فإنّ استخدام الشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المحدَّدة لا يمثل خيارًا مستبعَدًا من الاستخدام في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا أنّه ليس الاختيار الأمثل في الوقت الحالي. يوجد الآن بعض الدراسات الخاصة باستخدام الشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المُحدّدة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي تحتاج إلى إنتاج عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بكميات هائلة، أو ما يُسَمَّى بالإنتاج الشامل (Mass Production)؛ ليصبح تطوير هذه الشرائح لصالح عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة أمرًا مُجْدِيًا من الناحية الاقتصادية. يُعَدّ الجمع بين المتحكّمات الدقيقة من ناحية، والشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المُحدّدة من ناحية أخرى أحد الخيارات البحثية المتاحة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وفيها يتمّ استخدام الشرائح الإلكترونيّة في بعض عمليات معالجة البيانات المُحدّدة والمكررة بصورة دورية، في حين أنّ المتحكّمات الدقيقة توظَّف لعمليات المعالجة غير المعتادة وغير المكررة التي تحتاج إلى مرونة كبرى في التعامل معها، التي لا تتوافر في الشرائح الإلكترونيّة ذات التطبيقات المُحدّدة.

ويُعدّ المتحكّم الدقيق Atmel ATmega 128L واحدًا من أشهر المتحكّمات الدقيقة المستخدَمة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يُستخدَم في العديد من أنواع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهو يحتوي وحدة معالجة مركزية ذات ثمانية بت، مجهَّز بواجهات خارجية متعدَدة للتوصيل بالأجهزة الطَّرفيَّة المختلفة، كما أنَه مُعَدٌّ للاستخدام في التطبيقات المضمنة (Embedded Applications).

www.j4know.com

قدّمت شركة Texas Instruments عائلــة كبيرة من المتحكّمات الدقيقة تحت المسمَّى Texas Instruments MSP 430 وهذه العائلة من المتحكّمات الدقيقة مخصَّصة للاستخدام في التطبيقات المضمنة، وقــد تمّ استخدام العديد من تلك المتحكّمــات الدقيقة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ويحتوي هذا النوع مــن المتحكّمات الدقيقة معالجًا من نوع مجموعة الأوامر المختصرة للحاســوب (Reduced Instruction Set Computer) أو (RISC) ١٦ بت، ويعمل بإشارة ساعــة (Clock) منخفضة يصل أقصى تردّد لها إلى ٤ ميجاهرتز، وهو يقدّم مجموعة واسعة من إمكانيات الربط مع الأجهزة الطَّرفيَّة المختلفة، بالإضافة إلى العديد من الأوامر التي يمكن استخدامها مع تلك الأجهزة الطرفية.

وقد تمّ استخدام المعالجات الدقيقة بصورة محدودة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ويُعدّ Intel Strong ARM أحــدَ المعالجات الدقيقة التــي تمّ استخدامها لهذا الغرض في النماذج الأوّليّة في عُقَــد الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا أنّه لم يعد يستخــدم حاليًا؛ بسبب كونه ليس عمليًا في هذا الاستخدام، خاصّة لاستهلاكه كثيرًا من الطاقة الكهربائية. كما أنّ لديه إمكانات أكبر بكثير مما يُحتاج إليــه في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لأنــه مُصَنَّع بالأساس للاستخدام في أجهزة المساعد الرقمي الشخصي (PDA). ويحتوي طراز Sa-١١٠٠ من هذا المعالج الدقيق معالجًا من نوع مجموعة الأوامر المختصرة للحاسوب (RISC) ٣٢ بت، ويعمل بإشارة ساعة (Clock) مرتفعة نسبيًا يصل تردّدها حتّى ٢٠٦ ميجاهرتز.

أمّا فيما يخصّ الذاكرة، فممّا لا شك فيه أنّ عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة تحتاج إلى ذاكرة وصول عشوائيّ لتُخزِّن البيانات التي يتمّ قراءتها عبر الحسّاسات، وكذلك حزم البيانات التي يتمّ استقبالها من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الأخرى، ومع السرعة العالية لذاكرة الوصول العشوائي، إلّا أنّها تفقد البيانات المخزَّنة عليها بمجرد انقطاع التيار الكهربائي عنها؛ ولذلك كان هناك حاجة ماسّة لذاكرة ثابتة غير متطايرة لتخزين البرامج عليها، ويمكن استخدام ذاكرة القراءة فقط (Read Only Memory) أو (ROM) لتخزين البرامج عليها، إلّا أنّه عادة ما يتم استخدام ذاكرة للقراءة فقط قابلة للمسح والبرمجة كهربائيًا (EEPROM) أو ذاكرة فلاش. تتميّز ذاكرة الفلاش عن ذاكرة القراءة القابلة للمسح كهربائيًا بإمكانية كتابة

www.j4know.com

مجموعة من البيانات بدلًا من كتابة بايت واحدة في كلّ عمليّة من عمليّات الكتابة. كما يُمكِن استخدام ذاكرة فلاش في تخزين البيانات إذا كانت ذاكرة الوصول العشوائي ممتلئة، أو إذا تمّ إيقاف تشغيلها لوقتٍ محدَّد، وهنا يجب أن يؤخذ في الحسبان أنّ الوقت اللازم للقراءة والكتابة من ذاكرة فلاش يكون أطول من نظيره في ذاكرة الوصول العشوائي، كما أنّ ذاكرة الفلاش تحتاج إلى طاقة تشغيل كبرى.

يوضّح الجدوَل التالي بعضَ المعلومات عن مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المتوفرة حاليًا والمستخدمة في إنشاء شبكات حسّاسات لاسلكيّة، ويظهر فيه الاسم التجاري لعُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة، وكذلك نوع المتحكّم الدقيق المستخدم فيها، ونوع جهاز الإرسال والاستقبال، ثم أخيرًا أحجام الذاكرة المستخدمة وأنواعها [٨٨].

نوع عُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة	نوع المتحكّم الدقيق	نوع جهاز الإرسال والاستقبال	ذاكرة الوصول العشوائي	ذاكرة فلاش
BTnode	Atmel ATmega ١٢٨L	Chipcon CC١٠٠٠	٦٤ + ١٨٠ ك بايت	١٢٨ ك بايت
IMote	ARM	بلوتوث المدى ٣٠ م	٦٤ ك بايت	٥١٢ ك بايت
Iris Mote	Atmel ATmega ١٢٨L	Atmel AT٨٦ RF٢٣٠	٨ ك بايت	١٢٨ ك بايت
Mica	ATmega ١٠٣	RFM TR١٠٠٠	٤ + ١٢٨ ك بايت	٥١٢ ك بايت
Mica٢	Atmel ATmega	Chipcon ٩١٦/٨٦٨	٤ ك بايت	١٢٨ ك

www.j4know.com

	١٢٨L	MHz		بايت
Shimmer	MSP٤٣٠ F١٦١١	Shimmer SR٧	١٠ ك بايت	٤٨ ك بايت
T-Mote Sky	Texas Ins. MSP٤٣٠	Chipcon ٢.٤ GHz	١٠ ك بايت	٤٨ ك بايت

جدول ١ (مقارنة بين مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة) [٢٠]

٣.١.٢ - وحدة الإرسال والاستقبال

تُعدّ وحدة الإرسال والاستقبال هي المسؤولة عن اتّصال عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بالمحطّة الرئيسة، كما أنّها المسؤولة عن عمليات الاتصال بين العقد بعضها ببعض، وتُعدّ وسيلة الاتصال اللاسلكيّة التي تسمح بإرسال المعلومات واستقبالها من العُقَد وإليها، ويوجد عدّة خيارات يمكن استخدامها في تكوين هذه الوحدة منها: الاتّصال الضوئي (Optical Communication) باستخدام أشعّة الليزر، أو الاتّصال عبر الأشعة تحت الحمـراء (Infrared)، أو الاتّصال عبر ترددات الراديو(Radio Frequency Communication).

يتميّـز الاتّصال الضّوئـي باستخدام أشعـة الليزر بعدّة ميـزات: أوّلهـا انخفاض معدّل استهلاك الطاقة مقارنـة بخيارات الإرسال الأخرى – خاصـة الإرسال باستخدام ترددات الراديو – كما أنّهـا تتميّز بأنّها الأكثر أمانًا من ناحية المحافظة على سرّيّة البيانات المرسلة عبر الشبكة، ولا تحتاج إلى وجود هوائيّ [٤٤]. لكنّ من الناحية الأخرى توجد لهذه التقنية عدّة عيوب: أهمّها هو الحاجة لكون المرسل والمستقبل على خط أفق واحد، مع جعل كلّ واحد منهما متجهًا ناحية الآخر، كما أنّ كفاءة الإرسال تتأثّر بالظروف الجويّة بصورة كبيرة، وقد أدّت هذه العيوب إلى محدوديّة استخدام هذه التقنية في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا من تطبيقات قليلة. كذلك يعاني استخدام الأشعة تحت الحمراء من عيوب مماثلة في الإرسال، أهمّها قصر مسافة الإرسال، ومشكلة توجيه المرسل والمستقبل في اتجاه واحد، لضمان عدم تشتّت الأشعة المستخدمة في الإرسال.

www.j4know.com

وأخيرًا تأتي طريقة الإرسال باستخدام موجات الراديو، التي تعتمد على الموجات الكهرومغناطيسية في نظام الاتصال، وتتمثل العيوب الأساسية لهذه الطريقة في كِبَر حجم الهوائي –نسبيًا– وارتفاع كمّية الطاقة المستخدمة في كلٍّ من الإرسال والاستقبال مقارنة بالطرق الأخرى. على الرّغْمِ من العيوب المذكورة آنفًا إلّا أنّ استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة لموجات الراديو في الإرسال ينطوي على كثير من الميّزات، منها: سهولة استخدام وحدة الإرسال والاستقبال باستخدام موجات الراديو، وتوافقها مع كثير من الدوائر والتطبيقات الأخرى. كما أنّ الإرسال باستخدام موجات الراديو يعدّ من أشهر الطرق المستخدمة في عالم الاتّصالات على المستوى التجاري، ما يسمح بسهولة تجربة هذه التقنية في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة واستخدامها. كما تتميّز هذه التقنية بإمكانيّة وضع جهاز الإرسال والاستقبال في واحد من ثلاثة أوضاع مختلفة، وهي: الإرسال والاستقبال (Transmit/Receive)، والخمول (Idle)، والسبات أو النوم (Sleep)، وقد سمح هذا الوضع الأخير بتقليل استخدام الطاقة عن طريق الغلق التامّ لوحدة الإرسال والاستقبال عند عدم الحاجة إليها. يظهر في (شكل ٩) أنواع مختلفة من موصّلات الهوائيّات، التي يمكن استخدامها في وحدة الإرسال والاستقبال في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، في حين يوضّح (شكل ١٠) أنواعًا مختلفة من الهوائيّات. يتمّ اختيار نوع الهوائي المستخدم وفقًا لمسافة الإرسال المطلوبة، وكذلك وفقًا للتردّد، التي يتمّ تحديدها تبعًا لطبيعة الاستخدام ولنوعيّة التطبيق الذي سيتمّ استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة فيه.

شكل ٩ (أنواع موصلات هوائيات مختلفة تُستخدَم في وحدة الإرسال والاستقبال) [١١٤]

www.j4know.com

شكل ١٠ (أنواع هوائيات مختلفة تعطي على الترتيب من اليمين لليسار نسبة طاقة للقوة المقاسة مقدارها صفر ديسبل، ٢ ديسبل، ٤،٥ ديسبل، ٥ ديسبل) [١١٤]

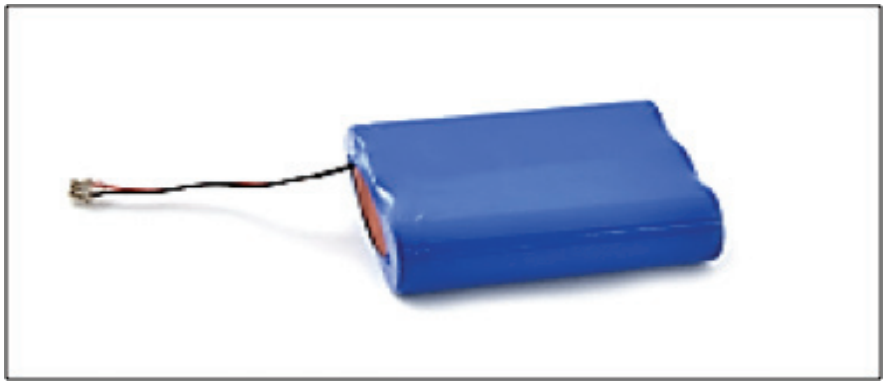
على الجانب الآخر غالبًا ما تعتمد نُظُم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تحت المياه على تكنولوجيا الاتّصال باستخدام الموجات الصوتية. يمكن كذلك استخدام تكنولوجيا الاتّصال الضوئي، أو التردّد الراديوي، وتسمح الأخيرتان – حال وجودهما تحت المياه – بمدى اتّصال قصير، يتراوح بين متر واحد للتردد الراديوي وعشرة أمتار للاتصال الضوئيّ، وتوفّران عرضَ نطاقٍ ترددّيّ كبيرٍ يقدّر بعدّة ميجاهرتز. وتحتاج تكنولوجيا التردد الراديوي إلى هوائيات كبيرة الحجم، وطاقة مرتفعة لزيادة مدى الاتصال، وهو ما يعدّ متطلّبًا صعبًا، خاصّة تحت المياه [٨٤]. في المقابل توفر تكنولوجيا الاتصال باستخدام الموجات الصوتية نطاقًا أوسعَ للاتصال، إلّا أنّ هذه التقنية يعوقها ثلاثة قيود، هي: محدوديّة النطاق الترددّيّ واعتماده على المسافة، وتغيّر سرعة انتشار الموجة باختلاف المسار، وأخيرًا انخفاض سرعة الموجات الصوتية. وهذه القيود تؤثر سلبًا في جودة الاتصال، كما تقلّل من سرعة الإرسال، ومن ثمّ تبرز الحاجة إلى تطوير تقنية الاتصال تحت المياه، للاستفادة منها في نُظُم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة [١].

٤.١.٢ - وحدة الطّاقة

تتكوّن وحدة الطّاقة بصورة أساسيّة من بطاريّة؛ إذ تقوم هذه البطاريّة بإمداد جميع الوحدات الموجودة في عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة بالطاقة الكهربائيّة؛ من أجل أن تقوم تلك الوحدات بدورها المطلوب. ويُعدّ اختيار نوع البطاريّة المناسب هو أحد أهمّ الإجراءات اللازم اتّباعها عند تصميم بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة؛ وذلك لتأثيره الكبير في عمل العقدة [٩٦]، ويجب كذلك الاهتمام بوجود دائرة لحماية البطاريّة؛ لتجنّب مشاكل الشحن الزائد

www.j4know.com

عن الحـد، وكذلك مشاكل تفريغ شحـن البطارية، وهذا قد يتطلّب إضافـة منظّم للجهد في دائرة البطارية لحمايتها. هنـاك العديد من أنواع البطاريات التي يمكن استخدامها في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وتنقسم هذه الأنواع قسمين أساسيين: البطاريات غير القابلة لإعادة الشحن، وتلك التي يمكن إعادة شحنها. كما يمكن تصنيف أنواع البطاريات كذلك وفقًا للمادة الإلكتروكيميائيـة المستخدمة في تصنيـع القطب الكهربائي للبطارية مثـل: النيكل كادميوم، والنيكل زنـك، والفضة زنك، وهيدريد النيكل المعدني، والليثيـوم أيون (شكل ١١) كما يوجد بعض أنواع البطاريات التي يمكن شحنها بواسطة الطاقة الشمسيّة باستخدام ألواح شمسيّة ثابتة أو متحركة مثلما يظهر في (شكل ١٢) وفي هذه الحالة تُعَدُّ مثل هذه الألواح أو جهاز شاحن البطارية هما الجزء الخاصّ بمولّـد الطاقة والمشار إليه في (شـكل ٥) الذي يوضّح الأجزاء المختلفة التي تتكوّن منها عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة.



شكل ١١ (بطارية ليثيوم أيون) [١١٤]

يعتمد اختيار نـوع البطاريّـة في عُقَـد الحسّاسات اللاسلكيّـة على التطبيق الـذي سيتمّ استخدامه فيها، وكذلك على الظروف المحيطة بالشبكة، فحينما لا يوجد مصدر يمدّ العُقدة بطاقة كهربائية متجدّدة، يصبح اختيار البطاريّات غير القابلة للشحن هو الخيار الأفضل؛ إذ يمتاز هذا النوع من البطاريات بارتفاع كثافة الطاقة فيه. أمّا إذا أمكن إعادة شحن البطارية فالخيار الأفضل بصورة عامة يكون بطاريات الليثيـوم، إلّا أنّه توجد عدة عوامل أخرى يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار نوع البطارية، وهو مـا يتطلّب عادة اختبارات عملية على وفقِ

www.j4know.com

التطبيق المستخدم. فعلى سبيل المثال يصبح استخدام بطاريات النيكل كادميوم أفضل بكثير من استخدام بطاريات الليثيـوم في التطبيقات التي قد تتعرّض لتفريغ الشحنة؛ وذلك بسبب الاختلاف الكبير في المقاومة الداخلية للبطارية بين هذين النوعين من البطاريات، بالإضافة إلى أنّ بطاريات الليثيوم تكون أكثر تكلفة. في حـين تعدّ بطاريات هيدريد النيكل المعدني هي البطاريّة الوحيدة الصديقة للبيئة من ضمن البطاريّات القابلة لإعادة الشحن، ويمكن إعادة شحنها دون حدوث انخفاض في الجهد يؤثّر في القيم المخزَّنة في الذاكرة، إلّا أنّه في المقابل نجد أنّ كثافة الطاقة في بطاريات هيدريد النيكل المعدني تقل كثيرًا عن تلك الموجودة في بطاريات الليثيوم، كما أنّها تحتاج إلى وجود دائرة إضافية للحماية من الشحن الزائد أو تفريغ الشحن.

شكل ١٢ (ألواح شمسية متحركة (يمين) وأخرى ثابتة (يسار) تستخدمان لشحن البطارية باستخدام الطاقة الشمسية) [١١٤]

توجد طريقتـان أساسيتان تستخدمان في توفـير الطاقة: الأولى تختصّ بـإدارة الطاقة، وتعتمد الفكرة الرئيسة وراء إدارة الطاقة على وقف تشغيل الأجهزة عند عدم الحاجة إليها، ثمّ إعادة تشغيلها مرة أخرى عند الحاجة إلى ذلـك، وقد أثبتت الدراسات العلميّة والتجربة العمليّة – كذلك – أنّ وقف تشغيل الأجهزة عند عدم الحاجة إليها يوفّر كثيرًا في استهلاك الطاقـة، إلّا أنّ المشكلة تكمن في أنّه في كثير من الحالات لا يمكـن معرفة موعد تشغيل جهاز معيّن أو إيقافه مسبقـاً، ويمكن تعويض ذلك بعمل مجموعة مـن التحليلات الإحصائية التي تساعد على توقّع أوقات تشغيل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة أو إيقافها، ويحتاج تشغيل خاصيّة إدارة الطاقة إلى وجود نظام تشغيل يدعم هذه الخاصية، كما يجب أنْ يدعم المتحكّم الدقيق

www.j4know.com

وجود ثلاث حالات تشغيل لعقدة الحسّاسات اللاسلكيّة: نشـط، وخامل، ومُغْلق (أو ما يطلق عليه (نائم))، ولكنْ يجب أن يؤخذ في الاعتبار أنّ التنقّل بين هذه الحالات يسبّب نوعًا مستترًا من أنواع استهلاك الطاقة.

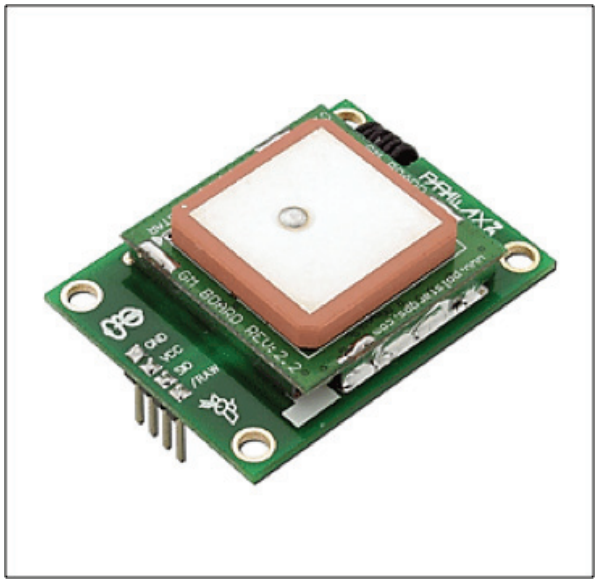
أمّا الطريقـة الثانية في توفير الطاقة فهي تعتمد على توزيع الجهـد؛ أيْ تعتمدُ على تغيير فرق الجهد على المتحكّم الدقيق وفق الحاجة إلى تشغيله؛ بحيث تتناسب الشحنة مع الطاقة التي يحتاج إليها المعالج؛ أيْ أنّ طريقة توزيع الجهد تعمل على خفض الطاقة التي يستخدمها المعالج عـن طريق خفض جهد التشغيـل؛ فمِنْ خلال خفض الجهد والـتردّد يمكن الحصول على انخفاض كبير في معدّل استهلاك الطاقة يتناسب مع مربع خفض الجهد. نظرًا لطبيعة شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تظهر مرة أخرى مشكلة عدم القدرة على معرفة أحمال التشغيل المستقبليّة؛ لذلك يجب أن يصمّم المتحكّم الدقيق بصورة تسمح بتغيير جهد التشغيل المبذول، وكذلك الـتردد المستخدم على وفق الحاجة. ويجدر بنا هنـا أنْ نفرّق بين مفهومين يختصّان بالطاقة: أحدهما هو انخفاض استهلاك الطاقة، والآخر هو التوفـير في استهلاك الطاقة؛ فالأوّل يعبّر عن ميـزة تصنيع تتفاوت فيها الأجهزة؛ إذ تستهلـك بعض الأجهزة معدّل طاقة لكلّ دورة أقلّ من أجهزة أخرى. أمّا المفهوم الثـاني فهو خاصيّة التوفير في استهلاك الطاقة بالنسبة لكلّ أمر من أوامر التشغيل المطلوبة، وبذلك الأمر فإنّ اختيار المتحكّم الدقيق في عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة يعتمد اعتمادًا كبيرًا على سيناريـو التطبيق المُستخدَم فيه؛ فالاختيار المثالي للمتحكّم الدقيق هو الذي يطابق فيه معدل استهلاك الطاقة في المتحكم الدقيق معدَّل الاستخدام في التطبيق المطلوب.

٥.١.٢ - وحدات إضافية

بالإضافة إلى الوحـدات الأساسيّة الموجودة في عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة، يوجد بعض الوحدات الأخرى التي يمكن إضافتها لعقدة الحسّاسات اللاسلكيّة وفق الحاجة إليها، ومن هذه الوحدات: وحدة نظام تحديد المواقع (Global Positioning System) أو (GPS)، التي تستطيع تحديد مكان العُقْدة بدقّة من حيث خطّ العرض، وخطّ الطول، والارتفاع (شكل ١٣)

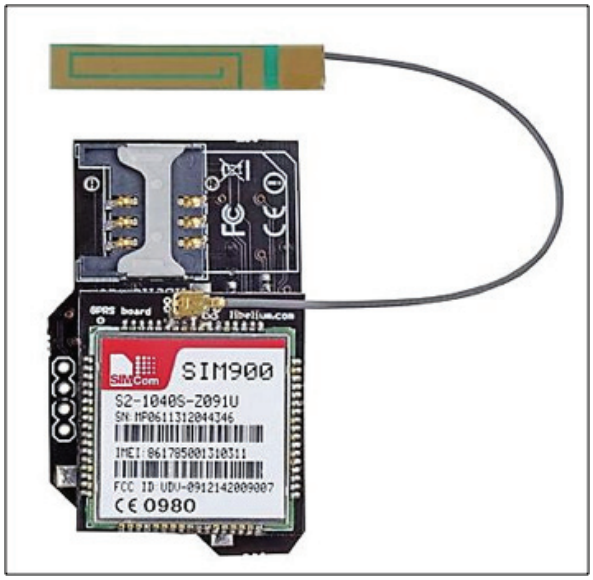
www.j4know.com

ومن الوحدات الإضافية التي يمكن تركيبها في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة – أيضًا – وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة(General Packet Radio Service) واختصاراً (GPRS)، والنظام المُوَحّد للاتصالات المتنقّلة (Global System for Mobile Communications) أو (GSM) التي يمكن من خلالها إرسال البيانات والمعلومات واستقبالها لمسافات طويلة (شكل ١٤). وأيضًا وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة من الجيل الثالث (3G-GPRS) التي تظهر في (شكل ١٥). وهذه الوحدة الأخيرة تتوافق مع شبكات الجيل الثالث للاتّصالات، ويمكنها أيضًا الإرسال لمسافات طويلة، كما أنّها تسمح بإرسال الصوت والصورة من خلال تكنولوجيا الجيل الثالث، وتستطيع الدخول على مواقع الإنترنت المختلفة، ورفع الملفّات وتنزيلها، وكذلك إرسال رسائل البريد الإلكتروني واستقبالها.

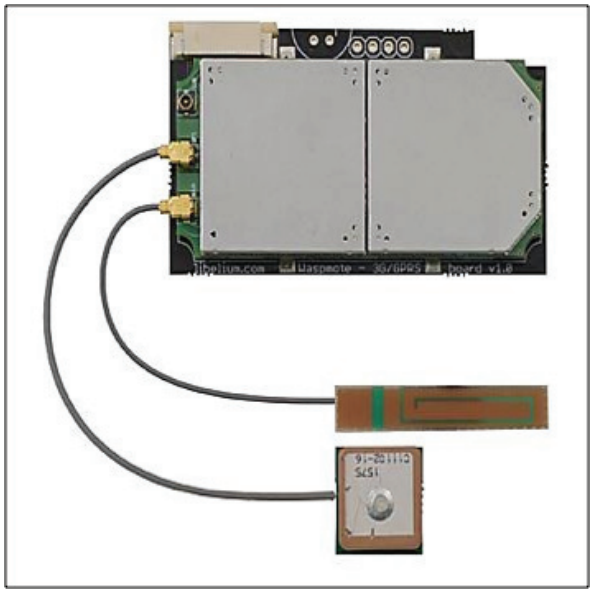


شكل ١٣ (وحدة إضافيّة تستخدم لتحديد موقع عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة) [١٠٩]

www.j4know.com



شكل ١٤ (وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة والنظام الموحّد للاتّصالات المتنقلة) [١١٨]

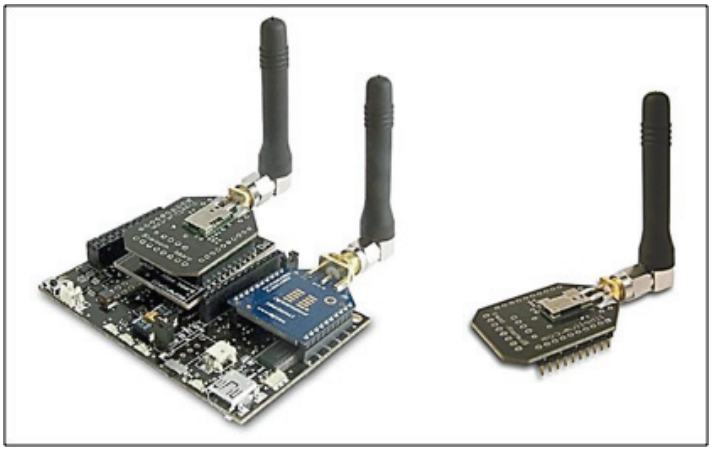


شكل ١٥ (وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة من الجيل الثالث) [١١٦]

ومن الوحدات التي يمكن إضافتها لعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وحدة بلوتوث (Bluetooth) يظهر في (شكل ١٦ على اليمين) صورة لوحدة بلوتوث، في حين يظهر على اليسار صورة لعُقْدة

www.j4know.com

حسّاسات لاسلكيّة كاملة مضافًا إليها وحدة البلوتوث المذكورة؛ وبذلك تستطيع هذه العُقْدة أن تُرسل وتستقبل عبر وحدة الراديو التقليديّة، أو عبر وحدة البلوتوث؛ إذ يمكن استخدام وحدة البلوتوث في الإرسال للمسافات القريبة بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في المنطقة نفسها، في حين يمكن استخدام وحدة الراديو التقليدية في الإرسال للمسافات البعيدة؛ لتوصيل المعلومات من عُقَد حسّاسات لاسلكيّة إلى المحطّة الرئيسة، وهذا الأسلوب متّبع بالفعل في أكثر من بروتوكول من بروتوكولات الإرسال الخاصّة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، التي تهتمّ في المقام الأول بتوفير طاقة الإرسال، وذلك من خلال تقسيم عمليات الإرسال إلى: عمليات قصيرة المدى وأخرى بعيدة المدى [٥٩] مع توزيع كلٍّ من عمليات الإرسال القصيرة المدى والبعيدة المدى بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في منطقة واحدة بصورة متساوية؛ وذلك من أجل الحفاظ على معدّل طاقة متقارب في جميع العُقَد [٦١]. ويمكن أيضًا وضع وحدتين من وحدات الراديو على عُقْدة واحدة؛ بحيث تستخدم العقدة بروتوكولين مختلفين من بروتوكولات الإرسال.



شكل ١٦ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة كاملة مع إضافة وحدة بلوتوث) [١١٦]

كذلك يوجد نوع آخر من أنواع وحدات بلوتوث، وهو نوع يُستخدَم فقط في التعرّف إلى أجهزة بلوتوث في المنطقة المحيطة بالوحدة؛ أيْ أنّها تعمل وحدةَ استقبال دون إرسال. ويوضّح (شكل ١٧) صورة وحدة بلوتوث يمكن إضافتها لعقدة حساسات لاسلكيّة؛ إذ يمكن لهذه الوحدة

www.j4know.com

اكتشاف أكثر من مئتي جهاز بلوتـوث في المنطقة المحيطة بهـا في الاستعلام الواحد، ويمكن استخدام هذه الوحدة على سبيل المثال في مراقبة كثافة المرور من حيث: عدد السيارات وعدد المشاة في منطقة محدّدة.

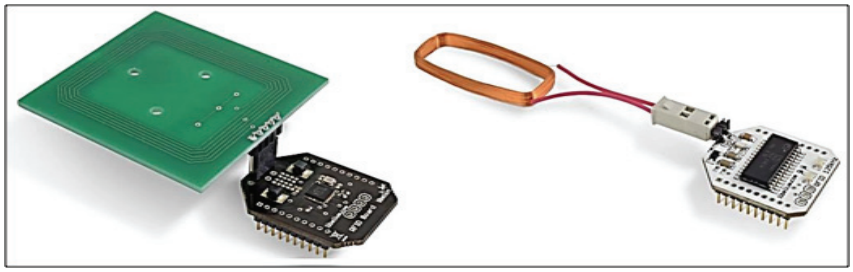
شكل ١٧ (وحدة بلوتوث إضافية تستخدم للتعرف إلى أجهزة بلوتوث في المنطقة المحيطة) [١٣٤]

مِنْ أنـواع الوحدات الإضافيّة الأخرى التي يمكن تركيبهـا في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وحدة واي فـاي (Wireless Fidelity) أو اختصاراً (WiFi)، التـي تعني البثّ اللاسلكي الفائق الدقّة والسرعة، التي تسمح بنقل البيانات بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بسرعة عالية لمسافات متوسطة. كمـا تسمح هذه الوحدة بالاتّصال المباشـر بأجهزة آي فون (iPhone)، وأجهزة أندرويـد (Andriod)، وكذلك مسـيّر الشبكة من النوع واي فـاي؛ ما يسمح لعقد الحسّاسـات اللاسلكيّة بالتواصل مع كثـير من أجهزة الاتصالات الحديثـة، ويفتح بابًا أمام العديد من التطبيقـات الجديدة التي تعتمد علـى الاتصال بين عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة وأجهزة الاتصـالات الحديثة خاصّة الهواتف الذكيـة (Smart Phones) ويظهر في (شكل ١٨) صورة لوحدة واي فـاي (WiFi) يمكن تركيبها على عقدة حسّاسـات لاسلكيّة؛ لتُرسل وتستقبل من خلال هذه التقنية.

www.j4know.com

شكل ١٨ (وحدة واي فاي) [١١٦]

من الوحدات الإضافية أيضًا وحدة التعرف بواسطة موجات الراديو (Radio Frequency Identification) أو (RFID)، وقد تمّ تصنيع أنواع منها – حديثًا – لتتوافق مع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة. تقوم هذه الوحدات بدور الجهاز القارئ (Reader)؛ لتتعرّف إلى الشرائح المختلفة (Tags)، ومن ثمّ يمكن إرسال هذه البيانات للمحطّة الرئيسة، وتتوافر حاليًا وحدات أجهزة قارئ للتعرّف بواسطة موجات الراديو تعمل بتردد ١٢٥ كيلو هرتز، وكذلك وحدات من النوع نفسه تعمل بتردد ١٣,٥٦ ميجا هرتز، ويظهر في (شكل ١٩) صورة لأجهزة التعرف بواسطة موجات الراديو، في حين يوضّح (شكل ٢٠) صورة لأنواع مختلفة من شرائح التعرف بواسطة موجات الراديو.



شكل ١٩ (وحدة تعرف بواسطة موجات الراديو تعمل بتردد ١٢٥ كيلو هرتز (يمين)، ووحدة من النوع نفسه تعمل بتردد ١٣,٥٦ ميجا هرتز (يسار)) [١١٧][١١٨]

www.j4know.com

شكل ٢٠ (شرائح مختلفة للتعرّف بواسطة موجات الراديو) [١١٨]

٦.١.٢ - وحدة المحطّة الرئيسة

يظهر في(شكل ٢١) وحدة محطّة رئيسة تستخدم في جمع المعلومات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المختلفة، والوحدة الموضّحة بالشكل يمكن تركيبها في الحاسوب مباشرة عن طريق ناقل متسلسل عام (Universal Serial Bus) أو (USB) ومن ثمّ يمكن الحصول على المعلومات التي تمّ جمعها من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من خلال هذه الوحدة باستخدام برامج الحاسوب المناسبة.

شكل ٢١ (وحدة محطة رئيسة يمكن توصيلها بالحاسوب) [١١٤]

٧.١.٢ - وحدة مسيّر شبكات حسّاسات لاسلكيّة

يظهر في (شكل ٢٢) مسيّر شبكات حسّاسات لاسلكيّة يعمل كنقطة اتصال بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ بحيث يزيد من كفاءة الاتصال، والجهاز الذي في الصورة يدعم

www.j4know.com

العديد من بروتوكولات التشغيل المستخدمة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ومنها: (IEEE 802.15.4)، وزيجبي، وواي فاي، وبلوتوث، ووحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة من الجيل الثالث.

شكل ٢٢ (مسيرّ شبكات حسّاسات لاسلكيّة) [١١٣]

٢.٢ - تحدّيات بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

يواجه بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة كثيرًا من التحدّيات لأسباب متعدّدة، أهمّها: محدوديّة قدرة المعالج والذاكرة؛ وذلك بسبب صغر حجم العُقَد، وكذلك محدوديّة الطاقة تبعًا للطاقة الكلية في البطاريّة [٥٠] وبما أنّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة تعدّ من ضمن الأنظمة المضمنة؛ فكان لزامًا الاستفادة من تطوّر هذه الأنظمة وتقدمّها لخدمة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، كما أنّ تحديد العوامل الأساسية في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يعدّ أمرًا ضروريًّا لسببين مهمّين: الأوّل؛ لأنّ ذلك يعدّ أساسًا لتصميم الخوارزميات وبروتوكولات الإرسال الخاصة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، والثاني أنّ هذه العوامل تُستخدَم للمقارنة بين البروتوكولات المختلفة، ومن ثمّ الحكم من خلالها على أفضل البروتوكولات وأنسبها للتطبيقات المختلفة [١٩].

١.٢.٢ - استهلاك الطاقة

يُعدّ استهلاك الطاقة أحدَ أهمّ العوامل المؤثّرة في تصميم عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إن لم يكن أهمّها على الإطلاق؛ ففي حين يتضاعف عدد الترنزيستور الموجودة على الشرائح الإلكترونيّة كلّ نحْوِ عامٍ ونصف، وهو ما يُسَمَّى قانونَ مور (Moore's Law) الذي يوجد ما

www.j4know.com

يماثله للتعبير عن تطور النطـاق التردّدي في عالم الاتصالات اللاسلكيّـة، وهو قانون جيلدر (Gilder's Law)؛ فإنّه – حتّى الآن – لا يوجد ما يماثل ذلك في تطوّر تكنولوجيا البطاريات وتقدّمها، ومن ثمّ فإنّ عنصر استهلاك الطاقة يمثّل عنق الزُّجاجة في بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة.

تُعدّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة أجهزة دقيقة صغيرة الحجم والوزن، ومن ثمّ فهناك قيود على حجم البطارية المستخدمة في تلـك الحسّاسات، ما يعني أنّ الطاقة الكهربائية المتوافرة للعقدة الواحدة محدودة، بالإضافة إلى ذلك فإنّه في أغلب التطبيقات يصعب أو ربّما يستحيل إعادة شحن البطارية المستخدمة في العقدة؛ ولهذا فقد ارتبط عمر عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة بعمر البطارية، بل يمكننا القول إنّ عمر العقدة يعتمد اعتمادًا كليًّا على عمر البطاريّة.

يمكن تقسيمُ وظائفِ عُقْدَة الحسّاسـات اللاسلكيّة إلى ثلاث وظائف رئيسة: الاستشعار، ومعالجة البيانات وحفظها، وأخيرًا إرسالها لاسلكياً. إنّ فَقْدُ الطاقة يعني خروج عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من الشبكة عمليًّا، ومِنْ ثـمّ تفْقد الشبكة عنصرًا من عناصـر استشعار البيانات ومعالجتها وحفظها. لا تقتصر أهمية عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على قيامها بعمليات الاستشعار ومعالجة البيانات فحسب، بل يمتدّ دورها –مثلما ذكرنا من قبل – إلى القيام بإرسال البيانات داخل الشبكة واستقبالهـا، ومن ثمّ فإنّ فقد الشبكة لمجموعة ولو قليلـةً من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بسبب نفاد طاقتها يؤدّي إلى تغيّرات كثـيرة في مسارات الإرسال، وهذا يؤدّي إلى قيـام العُقَد المختلفة بالبحث عن مسارات جديدة بديلة، وهو مـا يتطلّب استهلاكَ المزيد من الطاقة، وهذا الأمر يمنح إدارة عمليّة استهلاك الطاقة المزيدَ من الأهمّيّة.

٢.٢.٢ - تكلفة الإنتاج

تتألّف شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة من مئات – وفي بعض الأحيان من الألوف – من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وتسعى الأبحاث العلميّة في هذا المجال إلى زيادة عدد العقد في الشبكة الواحدة لأكثر من ذلك؛ ما يعني أنّ ثمن العُقْدة الواحدة يؤثّر بشدّة في ثمن الشبكة؛ ولذلك فإنّ خفض سعر العُقْدة الواحدة يؤدّي إلى انخفاض كبير في سعر الشبكة، ومن ثمّ يؤدّي إلى مزيد

www.j4know.com

من انتشار تكنولوجيا شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، ومن المتوقَّع أن يؤدّي انتشار استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة إلى إنتاج عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بأعداد كبيرة في صورة إنتاج شامل، ما يؤدي إلى خفض أسعار العُقد، ويسعى العلماء ورجال الصناعة إلى وصول ثمن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى مبلغ زهيد في حدود دولار أمريكيّ واحد.

٣.٢.٢ - قيود التّصنيع

تتكوّن عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة – كما أشرنا من قبل – من أربعة أجزاء أساسية: جهاز الاستشعار، ووحدة المعالجة والذاكرة، ووحدة الإرسال والاستقبال، والبطاريّة. وفي بعض العُقَد تكون هناك وحدات إضافيّة تختصّ بمهامّ أخرى، على سبيل المثال: وحدة للتّعرف إلى مكان العقدة، أو وحدة خاصّة بالنظام الموحّد للاتّصالات المتنقلة، وجمع كلّ هذه الأجزاء وتوصيلها ببعضها بعض في وحدة صغيرة الحجم منخفضة الوزن هو أمر ليس بالهيّن بلا شكّ. والتحدّي الأكبر من مجرّد جمعها هو رغبة العلماء والباحثين في الوصول بحجم العقدة الواحدة إلى حجم متناهٍ في الصغر يقدّر بواحد ميلليمتر مكعّب، مع خفض الوزن إلى حدّ أنه يمكن للعُقْدة أن تظلّ معلّقة في الهواء[٦]، وهو ما يفسّر التسمية التي أطلقها العلماء على عُقْدة الحسّاسات اللاسلكيّة؛ فهم لم يكتفوا بالاسم التقليديّ المستخدم في الشبكات – وإن كان مستخدمًا في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة أيضاً – وهو (Node) ويعني نقطة الالتقاء أو نقطة الاتّصال، ولكنهم أضافوا اسمًا جديدًا وهو كلمة (Mote)، وهي تطلق على الشيء المتناهي في الصغر، وتعني الذرة أو الهباءة.

٤.٢.٢ - الوسط المحيط

تعمل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في أماكنَ مختلفة وظروف متنوّعة تبعًا للتطبيق الذي تُستخدَم فيه، فتتنوّع الأماكن والظروف بين وضع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بالقرب من الآلات في المصانع، أو داخل الكتل الإسمنتية في المباني والمنشآت، أو على سطح المياه في البحار والأنهار، أو في أعماق المحيطات، أو في الصحراء، أو تثبيتها في حيوانات بريّة أو بحريّة، أو وضعها خلف خطوط العدو في المعارك الحربية، أو في منطقة معرضّة لهجوم كيميائيّ أو بيولوجيّ أو نوويّ،

٦- الذي يمكن تحقيقه من خلال تقنية النانو.

www.j4know.com

أو في المكتب أو المنزل، وهو ما يعني وجوب وضع الظروف المحيطة بالعقد في الحسبان عند صناعة تلك العقد.

٥.٢.٢ - الوسط الناقل للبيانات

تعتمد شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة شبه تامّة على الاتّصال اللاسلكي، وعادة ما تخلو بُنية الشبكة من أيّ بُنية تحتيّة سوى من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ولذلك فإنّ تحديد حيّز من الترددات المسموح باستخدامها في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة يجب أن يُتَوَافَق عليه على مستوى العالم؛ بحيث يصبح استخدام الحسّاسات أمرًا سهلًا، لا يتعارض مع أنظمة الاتّصالات الموجودة في الدول المختلفة، وعادة ما تَستخدم عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة النطاق الصناعي العلمي الطبي للإرسال، وهو ما يطلق عليه (Industrial Scientific and Medical Band) أو اختصاراً (ISM Band). وهو عبارة عن عدّة نطاقات للترددات تستخدم للإرسال في مجالات الصناعة والعلوم والطب دون الحاجة إلى تصريحات حكوميّة مسبقة؛ إذ تَستخدم تلك العقد – وفق طريقة التصنيع – أحد الترددات الآتية للإرسال: ٨٦٨ ميجا هرتز[٧]، أو ٩١٥ ميجا هرتز، أو ٢,٤ جيجا هرتز.

٦.٢.٢ - إدارة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من بُعد

عادة ما تُتْرَك عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الأماكن التي تُستخدَم فيها دون مراقبة أو متابعة مباشرة، خاصةً مع زيادة أعدادها في الشبكة الواحدة، بل وفي كثير من الأحيان يصعب الوصول إليها من قبل مشغّلي الشبكة، كما هو الحال في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في أعماق البحار والمحيطات، أو في الأماكن المعرّضة للإشعاعات الخطيرة، ونحو ذلك. وقد أدّت صعوبة الوصول إليها أو استحالتها إلى وجوب القدرة على التحكم في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة وإدارتها من بُعد، وتتمثّل الحاجة إلى إدارتها والتحكّم فيها في عدّة أمور، منها: إصلاحُ الخلل في أداء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الناتج عن أخطاء في برمجة تلك العقد، وتغيير مسارات الإرسال، والتحكّم في تشغيل العُقَد عند الحاجة إليها، وإيقاف التشغيل عند عدم الحاجة، ويمثّل الأمر الأخير عنصرًا مهمًا في التوفير في استهلاك الطاقة.

٧- يستخدم فقط في قارة أوروبا.

www.j4know.com

تتّصف بُنية شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بديناميكية عالية؛ إذ يتغيّر بناء الشبكة بصفة مستمرة تبعًا لإضافة عُقَد جديدة للشبكة أو خروج بعض العُقد منها بسبب نفاد الطاقة، ونظرًا لهذه الديناميكيّة؛ فإنّ إدارة العقد والتحكّم فيها من بُعد يُعدّ أمرًا صعبًا ويحتاج إلى المزيد من الاهتمام بتطوير البرمجيّات الخاصّة بعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وكذلك إجراء العديد من اختبارات الجودة، لضمان الحفاظ على القـدرة على التحكّم في الشبكة من المحطّة الرئيسة دون الحاجة إلى التّعامل مع العُقَد بصورة مباشرة.

٧.٢.٢ - سهولة الاستخدام

في كثير من التطبيقات يحتاج الأمـر إلى سرعة نشر عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة، وهذا يتطلّب سرعـة تشغيل هذه العُقد، وكذلك القدرة على صيانتهـا بسهولة. كما يجب أن تمكّننا تكنولوجيا شبكات الحسّاسـات اللاسلكيّة من إدارة الألوف من عُقَـد الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة سلسة وسريعة، وهذا يتطلّب تطوير البرمجيات الخاصّة بعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لتسمح بسرعة التشغيل بعد تكوين الشبكة.

٨.٢.٢ - المُواصفات القياسيّة

يُعدّ التوافـق بين الأجزاء الإضافية في عُقَـد الحسّاسات اللاسلكيّة محـدودًا إلى حدٍّ ما، ويتطلّب أن يكون لكلّ جزءٍ تعريفٌ خاصٌّ بـه يختلف عن تعريفات الأجزاء الإضافية الأخرى، وبالتأكيد يتطلّب تشغيل كلّ جزء إضافي يتمّ تركيبه في العقدة توافر برامج التعريف الخاصّة بتشغيله على برنامج التشغيل المستخدم في العقدة، ويوجد حاليًّا – بالفعل – توجّه علمي نحو توحيد المواصفات القياسيّة لصناعة أجزاء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ بحيث تصبح واجهة التعريف الخاصة بالأجزاء المختلفة متوافقة؛ ما يجعل تغيير هذه الوحدات أمرًا سهلًا.

كذلك يتطلّب التوافق بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي تُصنّعها الشركات المختلفة المزيد من التوافق حتى يتسنّى تشغيل العقد المختلفة مع بعضها بعضًا في شبكة واحدة، وهو ما يتطلّب التوافق في مدى ترددات الإرسال، وطرق التحكم بالوصول إلى الوسائط (Medium Access Control) أو (MAC)، وبروتوكـولات الإرسـال، وتُعَـدُّ IEEE 802.15.4 التابعة لجمعية

www.j4know.com

مهندسي الكهرباء والإلكترونيات العالميّة (Institute of Electrical and Electronics Engineers) أو اختصاراً (IEEE) واحدة من أهمّ المجموعات العاملة في مجال المواصفات القياسية الخاصة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

www.j4know.com

www.j4know.com

٣- الفصل الثّالث

بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

بعد أن عرضنا في الفصل السابق كيفيّة بناء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ يقدّم هذا الفصل شرحًا تفصيليًا لكيفيّة بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. يستمدّ بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة الكثير من الأساسيات الخاصّة بشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، ويرجع ذلك إلى اشتراك كِلا النوعين في خاصية مهمّة ينفرد بها عن بقيّة أنواع شبكات الحاسبات سواء السلكيّة أم اللاسلكيّة، وهي خاصيّة عدم وجود بُنية تحتيّة ثابتة للشبكة، ومن ثمّ تعتمد الشبكة على التنظيم والترتيب الذاتيّ لنقاط الشبكة عند الاتّصال فيما بينها، ومع هذا التشابه إلّا أنّه يوجد العديد من الاختلافات بين النوعين، وهو ما استدعى وجود حلول خاصّة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تختلف عن تلك الحلول المخصّصة بشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، وقد تعدّدت وكثرت الدراسات الخاصة ببناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة نظرًا لتنوّع تطبيقات هذا النوع من الشبكات، ومن تلك الدراسات ما هو مُعْتَمَد أو مبنيٌّ على الدراسات الخاصّة بشبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة، ومنها ما هو مُسْتَقِلٌّ وأُنشئ خصّيصًا لبناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وسيعرض هذا الفصل في النّقاط القادمة تفاصيل بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

١.٣ - سيناريوهات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

تتنوّع سيناريوهات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة على وفق عدّة عوامل، منها: نوعُ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المستخدمة في الشبكة، ونوعُ المحطّات الرئيسة وعددها، وطريقة الإرسال بين العقد، وحالة العقد والمحطة الرئيسة من حيث الثبات أو التنقل. وفيما يلي سيتمّ مناقشة هذه النقاط بالتفصيل.

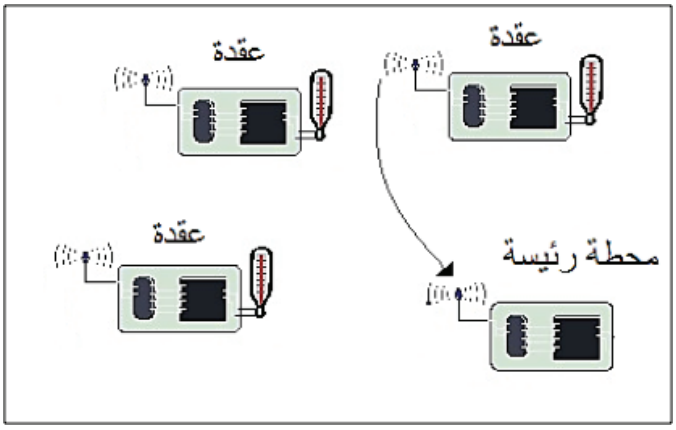
١.١.٣ - أنواع العُقَد وأنواع المحطّات الرئيسة

تتكوّن شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة من مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وتعدّ كلّ واحدة من تلك العقد مَصْدَرًا من مصادر المعلومات في الشبكة، كما يمكن أن تُنفّذ العقدة

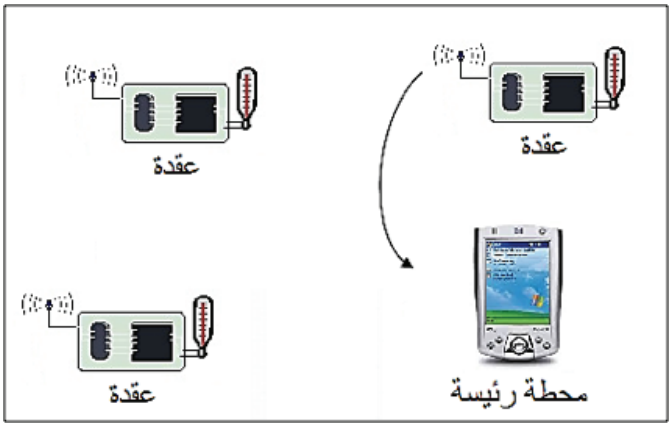
www.j4know.com

إحدى عمليّات التشغيل المُحدّدة، مثل أن تُسهم في إرسال المعلومات من عُقَد أخرى، أو تُسهم في عمليّات معالجة البيانات.

على الناحية الأخرى تُعدّ المحطّة الرئيسة نقطةً لتجميع المعلومات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المختلفة، وتتعدّد أشكال المحطة الرئيسة لتصل إلى ثلاثة أشكال مختلفة: أوّل هذه الأشكال أن تكون المحطّة الرئيسة عبارة عن عقدة حسّاسات لاسلكيّة مثل بقية العُقَد الموجودة في الشبكة، إلّا أنّها تختصّ بتجميع المعلومات والبيانات والاحتفاظ بها (شكل ٢٣) وقد يتمّ توصيل هذه العقدة مباشرة بأحد أجهزة الحاسوب من خلال ناقل متسلسل عام (USB) وقد تتّصل العقدة لاسلكيًا بجهاز حاسوب (شكل ٢٤) أو بشبكة أخرى، للحصول على المعلومات المخزَّنة فيها [٥].



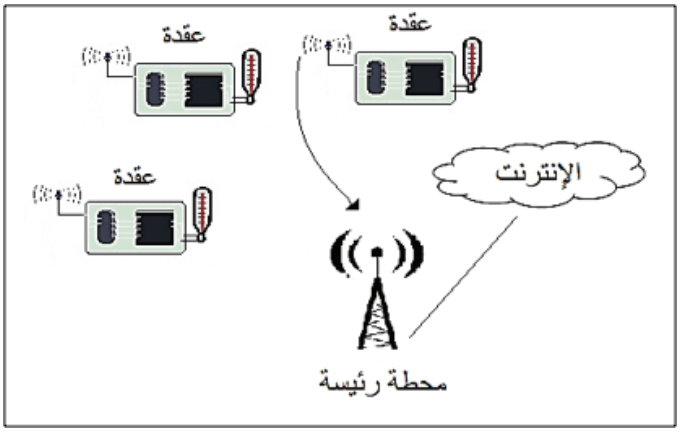
شكل ٢٣ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة تقليدية تقوم بعمل المحطة الرئيسة في الشبكة) [١٣٦]



شكل ٢٤ (مُساعِد رقمي شخصي يقوم بعمل المحطة الرئيسة في الشبكة) [١٣٦]

www.j4know.com

أمّا الشكل الثالث فتتمثّل فيه المحطة الرئيسة في صورة عَبَّارة (Gateway) لشبكة حاسوب أخرى مثل: شبكة إيثرنت، أو شبكة الإنترنت (شكل ٢٥). إذ يتمّ إرسال المعلومة المطلوبة إلى مكان آخر بعيد عن شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة التي حصلت على هذه المعلومة من خلال عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في هذه الشبكة.



شكل ٢٥ (المحطة الرئيسة في الشبكة تتمثل في صورة عَبَّارة (Gateway) لشبكة الإنترنت) [١٣٦]

٢.١.٣ - الإرسال المباشر أو عبر الوسطاء

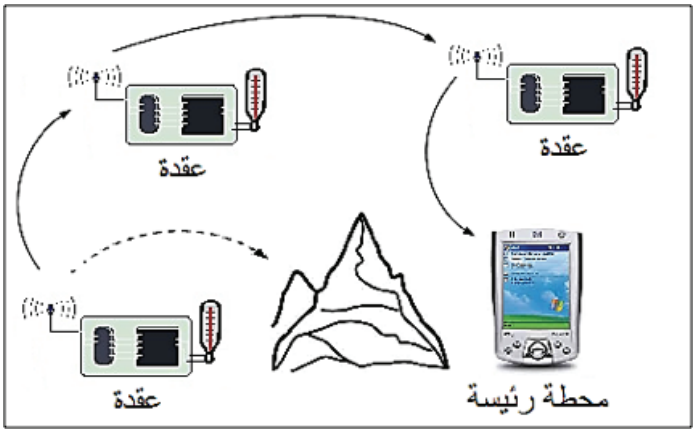
طبقًا لأساسيّات علم الاتّصالات اللاسلكيّة؛ وبسبب محدوديّة الطاقة في تلك الاتصالات، توجد قيود على مسافة الإرسال بين المُرسل والمُستقبِل في الشبكات اللاسلكيّة بصورة عامّة، وفي شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة خاصة، وبسبب هذه القيود على مسافة الإرسال؛ فإنّ الإرسال المباشر من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطّة الرئيسة ليس ممكنًا في جميع الأحوال، ويرجع ذلك للاحتياج إلى كمّيّة كبيرة من الطاقة لإرسال البيانات لمسافات بعيدة؛ إذ تتناسب الطاقة المُستهلَكة من أجل الإرسال طرديًّا مع مربّع مسافة الإرسال[٨]. ويتأكّد هذا الأمر – أيْ عدم إمكانية الإرسال لمسافات بعيدة – في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بسبب محدوديّة الطاقة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وكذلك عند استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في بعض التطبيقات التي تغطّي مساحات كبيرة[٩]

٨- وفي بعض الأحيان تتناسب الطاقة المستهلكة في الإرسال مع أكثر من مربع المسافة، وذلك وفقاً لعوامل متعددة .

٩- يطلق عليها شبكات الحساسات اللاسلكية كبيرة الحجم.

www.j4know.com

، مثل التطبيقات الزراعيّة والتطبيقات البيئيّة؛ ما يستحيل معه الإرسال المباشر من بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطّة الرئيسة [٨٥]. وأيضًا عند استخدام هذه الشبكات في بعض التطبيقات التي يحدث فيها إضعاف كبير لشدّة الإشارة المُرسلَة بسبب وجود عوائق كالجدران ونحوها (كما هو موضّح في شكل ٢٦)، ومثلما هو الحال في التطبيقات التي تتمّ داخل المنازل والمنشآت المختلفة.



شكل ٢٦ (العقدة لا تستطيع الإرسال مباشرة للمحطة الرئيسة بسبب العوائق) [١٣٦]

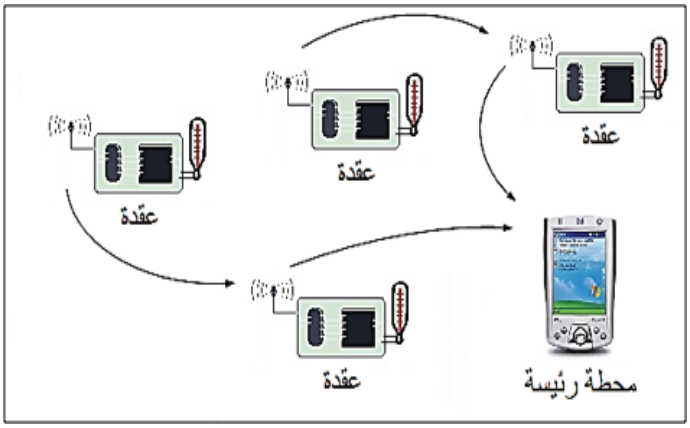
وللتغلبّ على مشكلة عدم إمكانية الإرسال المباشر من بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطة الرئيسة، تقوم بعض نقاط الإرسال بدور الوسيط، بحيث يمكن الإرسال من خلالها حتى الوصول إلى المحطّة الرئيسة، وهذا النوع من الإرسال غير المباشر عبر نقاط إرسال وسيطة يمثّل في حقيقة الأمر اختيارًا ممتازًا لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ حيث يمكن استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في المسار بين عقدة محدّدة والمحطّة الرئيسة لتقوم بهذا الدور الوسيط، بل وزيادة على ذلك فإنّ كلّ عُقدة من العقد الوسيطة يمكنها أن تدمج البيانات التي ترغب في إرسالها للمحطة الرئيسة مع تلك البيانات التي سترسلها خلال قيامها بدور الوسيط، وبهذا تستغني شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن وجود أجهزة إضافية في الشبكة، وتبقى مكوّنات الشبكة الوحيدة هي عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وهذا يعني أنّ توزيع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة يلعب دورًا مهمًا حقًّا؛ فتلك العقد لم تَعُدْ تقيس مجموعة من العوامل الطبيعيّة فحسب،

www.j4know.com

بل صارت تؤدّي وظيفةً إضافيّـةً أخرى، وهي توصيل المعلومات مـن مجموعة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطة الرئيسة، وكذلـك الأوامر المختلفة من المحطـة الرئيسة إلى بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة أو جميعها، ويجب هنا أن يُلاحَظ أنّ عدم وجود مسار كامل من واحدة أو من مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطة الرئيسة يجعل تلك العقد معزولة عن الشبكة، وهو ما يعني خروجها عمليًّا من الشبكة، ومن ثمّ انعدام فائدة تلك العقد للشبكة [٧٧].

الإرسالُ عبر عِدّة عُقَد مـن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة لا يمثّل فقط الحلَّ العملي للإرسال عبر مسافات طويلة، أو عبر الأماكن التي يكثر فيها وجود عوائق الإرسال، بل يمثّل عاملًا مهمًّا في توفير الطاقة المستهلَكة في إرسال البيانات في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ويرجع ذلك إلى أنّ الطاقة المستهلَكة تتناسب طرديًّا مع مربّع مسافة الإرسال على الأقل، بل عادة ما تتناسب طرديًّا مع أكثرَ من مُرَبَّع المسافة، ومن ثمّ فإنّ الإرسال عبر مسافات قصيرة يؤدّي إلى توفير المزيد من الطاقة على مستوى جميع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، إلّا أنّ هذه الصورة لتوفير الطاقة ليست خالية من العيوب، فقد أغفلـت حقيقة مهمّة وهي كمّيّة الطاقة المستهلكـة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الوسيطة التي تقع في المسار بـين العقدة التي ترغب في إرسال المعلومات إلى المحطة الرئيسة، ومن ثمّ فقد أصبح من اللازم هنا مراعاة عدم تصغير مسافة الإرسال بدرجة كبيرة، حتّى لا يتمّ استهلاك كثير من الطاقة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الوسيطة، ولهذا فإنّ اختيار مسافة الإرسال يمثّل أحد العوامل المهمّة التي يجب تحديدها وأخذها في الاعتبار عند تصميم الشبكة. كما يمكن كذلك –كما هو الحال في كثير من بروتوكولات الإرسال في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّـة – أن تقوم العُقَد الوسيطة بدمج البيانات التي ترغـب في إرسالها مع الرسالة التي استقبلتها، ثم تُعيد إرسال الرسالة مضافًـا إليها أو مدمجًا فيها البيانات الخاصّة بها، وبذلك فإنّ العقد الوسيطة تستفيد من دورها الوسيط بالقيام بإرسال البيانات التي لديها؛ مما يمثّل توفيرًا في طاقة الإرسال الكلّيّة في الشبكة [٦٠]. كما يؤدّي هذا إلى توزيع الطّاقة المستهلكة بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة عادلة إلى حدّ كبير.

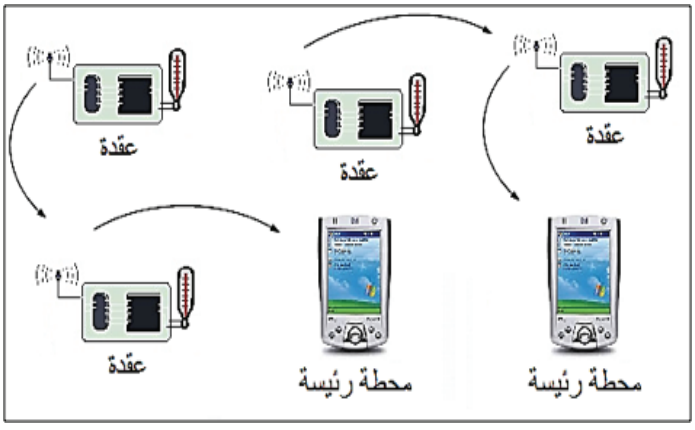
www.j4know.com



شكل ٢٧ (محطة رئيسة واحدة فقط في الشبكة) [١٣٦]

٣.١.٣ - عدد المحطات الرئيسة

في أغلب تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة الحالية تكون هناك محطّة رئيسة واحدة لجمع المعلومات (شكل ٢٧) تُرسل جميع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة لتلك المحطة الرئيسة من خلال الإرسال المباشر، أو من خلال الإرسال عبر عُقَد حسّاسات لاسلكيّة أخرى، كما سبق توضيحه في النقطة السابقة. في قليل من التطبيقات الموجودة حاليًا يتمّ استخدام أكثر من محطّة رئيسة لجمع المعلومات (شكل ٢٨) إذ يتمّ توزيع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بين تلك المحطات الرئيسة؛ فتُرسل كلّ مجموعة من العقد لمحطّة محدّدة (إرسال مباشر أو عبر وسائط كما سبق ذكره) ويتمّ التواصل بين المحطات الرئيسة المتعدّدة من خلال شبكة سلكيّة أو لاسلكيّة لتجميع المعلومات في نقطة واحدة.



شكل ٢٨ (تعدّد المحطات الرئيسة في الشبكة) [١٣٦]

www.j4know.com

٤.١.٣ - تنقّل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة

يمكن لعُقَـدِ الحسّاسات اللاسلكيّة أن تكـون متحركّة؛ بحيث يمكنها التنقّـل بسرعة محدّدة داخل مساحة محدّدة تمثّل مساحة الشبكة، وتتوقف إمكانية تنقّل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من عدمه – بصورة كبيرة – على التطبيق التي تستخدم فيه تلك العقد؛ فاستخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في تطبيقات قياس العوامل البيئية المحيطة في إحدى المنشآت – مثلاً – لا يسمح بحركة عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة؛ إذ توضـع كلّ عقدة في مكان محدّد، ليتـمّ الحصول على معلومات القياس من مكان محدّد. في حين أنّـه في تطبيقات أخرى يكون هناك عددٌ مـن العُقَد المتحرّكة، مثل تطبيق مراقبة الحيوانات البرية، الذي يتمّ فيه تثبيت مجموعة من العُقَد في تلك الحيوانات.

في حالة تنقّل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ فإنّ الشبكة تحتاج بصورة مستمرة إلى معرفة أماكن العقد المختلفة؛ لتقوم بإعادة ترتيب مسارات الإرسال على وفق أماكن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ومن الواضح هنا وجـود علاقة وثيقة بين وتيرة حركة عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة وسرعتها من جهة، وبين الطاقة اللازمة للحفاظ علـى مستوى محدّدٍ من فعاليّة الشبكة والمحافظة على أدائها من جهة أخرى [٣٠].

٥.١.٣ - تنقّل المحطات الرئيسة

في حال إذا ما كانت المحطة الرئيسة متنقّلة؛ فإنّه يجب معرفة نوع هذه المحطة. هل هي عقدة حسّاسات لاسلكيّة متنقلة؟ أم جهاز حاسوب محمول؟ أم مُساعِدٌ رقميٌّ شخصيّ؟ وذلك حتّى يتسنّى معرفة طبيعة حركة تلك المحطة؛ لكي تؤخذ حركة المحطّـة في الاعتبار عند تصميم بروتوكولات الإرسال الخاصّة بهذا النوع من الشبكات. عادة ما تطلب المحطّة مجموعة من البيانات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المحيطة بها أثناء وجود المحطة عند نقطة محدّدة، لكنّ ما تلبث المحطة أن تتحـرّك إلى مكان آخرَ، لهذا يجب أن تكون لدى عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة القدرةُ على معرفة مكان المحطة الرئيسة ورصد حركتها، بحيث تتمكّن من إرسال المعلومات إلى المكان الصحيح الذي توجد فيه المحطّة الرئيسة، وعبر عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي يؤدي مسارها إلى تلك المحطة.

٦.١.٣ - تنقّل الحدث

في بعض التطبيقات – كتلك الخاصّة بالمراقبة والمتابعة – يكون الحدث المُراد متابعته ومراقبته

www.j4know.com

متحركًا في حدّ ذاته، ومثال ذلك تطبيقات اكتشاف الأهداف المتحركة، التي يتحرّك فيها الهدف من مـكان إلى آخر داخل المساحة التـي تغطّيها الشبكة، وفي هذا النوع مـن التطبيقات يكون من الضروري أن تُتابع مجموعة كافية من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة مكان الهدف ومراقبته، بحيث تكون في حالة نشطة أثناء المراقبة، ثمّ ما تلبث أن تتحوّل للحالة الخاملة أو الحالة المُغلقة بعد خروج الهدف من المنطقة المحيطة بها؛ لتُتابع مجموعة أخـرى من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الهدف، ويستمرّ الأمر على هـذا النّحْو لضمان تتبّع الهدف المتحرك بدقـة، ويمكن في مثل هذا النوع من التطبيقات أن تتعرّف المحطة الرئيسة بواسطة بعض الخوارزميات ومن خلال المعلومات الواردة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة إلى مكان الهدف المتحرك.

٢.٣ - تحدّيات البناء في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

تواجه شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة العديد من التحديـات التقنية في ثلاث مجالات، وهي: معالجة البيانـات، والاتّصالات، وإدارة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّـة. ويرجع هذا لطبيعة ظروف البيئة المحيطة بعقد الحسّاسات اللاسلكيّة، مع طبيعة تلك العقد من محدوديّة الطاقة، ومحدوديّة قدراتها في معالجة البيانات، كما أنّ ظروف بناء الشبكة دون بُنية أساسيّة يزيد من تلك الصعوبات [٧١]. وفيما يلي نستعرض أهمّ التحدّيات التي تواجه عمليّة بناء شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

١.٢.٣ - اكتشاف الشبكة

يجب على عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في الشبكة أن تستكشف الشبكة، أو بصورة أدقّ يجب أن تكتشف العُقدَ المجاورة لها، التي ستتواصل معها بالإرسال والاستقبال أثناء تشغيل الشبكة، ومن ثمّ فإنّ كلّ عقـدة في الشبكة يلزمها التعرف إلى هُوِيَّة كلّ عقدة ومكانها من العقد المجاورة؛ للتواصل فيما بينها، وللتّعاون في عمليات معالجـة البيانات. في حين أن بُنية الشبكة تكوِّن معلومة لجميع العُقد في الشبكات التقليديّة، إلّا أنّ الوضع يختلف في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وهو ما يؤدّي إلى ضرورة بناء مسارات الإرسال أثنـاء الوقت الفعلي لعمل الشبكة. ليس هذا فحسب، بل يحتاج الأمر إلـى تجديد هذه المسارات بصورة دورية؛ نظرًا إلى خروج بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من الشبكـة، أو بسبب إضافة عُقَد جديـدة للشبكة، وتزداد صعوبـة اكتشاف الشبكة

www.j4know.com

وتحديد مسارات الإرسال في حالة الشبكات المتنقّلة سواءٌ أكان ذلك بسبب تنقّل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، أم المحطات الرئيسة، أم كليهما.

ومن الأمور المهمّة كذلك في عملية اكتشاف الشبكة هو عملية تحديد مواقع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة؛ فبما أنّ العوامل التي يتمّ تسجيلها تكون مرتبطة بمكان قياس هذه العوامل؛ فإنّ تحديد مكان كلّ عقدة من عُقَد الشبكة يصبح أمرًا ضروريًّا، وفي هذا الصدّد يمكن استخدام نظام تحديد المواقع (GPS) في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لمعرفة مكان العقدة بدقة، ونظرًا لارتفاع تكلفة نظام تحديد المواقع، فيمكن استخدام طرق أخرى لمعرفة موقع العقدة، مثل استخدام بعض الخوارزميات الخاصّة بتحديد المواقع بصورة نسبية [٣٧][٥٨][٧٣][٩٢].

٢.٢.٣ - مراقبة شبكة الاتّصال وتحديد مساراتها

تحتاج شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة إلى التّعامل مع مجموعة من الموارد المختلفة الموجودة في الشبكة، منها: الطاقة، وعرض النطاق الترددي للإرسال، والقدرة على معالجة البيانات؛ وبسبب تغيّر هذه الموارد باستمرار في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تزيد الصعوبة التي تواجهها الشبكة في إدارة هذه الموارد في العُقد المختلفة، ونظرًا لافتقار الشبكة لبُنية تحتية ثابتة؛ فيجب أن تتوافر في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة برامجُ وخوارزميّاتٌ تتيح للشبكة عمل روابط اتّصال بين العقد المختلفة. كذلك فإنّ تعرّض تلك الروابط اللاسلكيّة بين العُقد المختلفة للتلاشي والاختفاء؛ بسبب خمول إحدى العُقد أو خروجها من الشبكة يزيد من المتطلبات الواجب أخذها في الاعتبار عند تصميم تلك البرمجيات والخوارزميات الخاصّة بالعُقد؛ لضمان مرونة وسهولة تغيير تلك الروابط اللاسلكيّة. هذه الاشتراطات تحتاج إلى بحثٍ دقيق في عِدّة أمور قبل اختيار طريقة إدارة الشبكة، منها: حجم الشبكة، وعدد الروابط بين كلّ عقدة والعقد الأخرى في الشبكة[١٠]، وعدد العقد التي تكرّر إرسال المعلومات لضمان وصولها بدقة للمحطة الرئيسة، كما يجب أن يؤخذ في الاعتبار أنّ بروتوكولات الإرسال في الشبكة غالبًا ما تعمل بصورة آليّة، ولا يتدخّل فيها العامل البشري أثناء التشغيل.

وجدير بالذكر هنا أنّ بروتوكولات الإرسال التقليديّة، مثل بروتوكول الإنترنت (Internet

١٠- وهو ما يطلق عليه درجة العقدة أي عدد روابط الأتصال بين عقدة محددة و العقد الاخري الموجودة في الشبكة.

www.j4know.com

Protocol) بما في ذلك بروتوكول الإنترنت الجوال(Mobile Internet Protocol) لا تصلح للاستخدام في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ولهذا فهناك حاجة ضرورية إلى البحث عن حلول بديلة تصلح للاستخدام في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ ذلك لأنّ مسارات الإرسال في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة لا تعتمد على مُعَرِّف محدّد لعُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة (كما هو الحال في بروتوكول الإنترنت) ولكنْ تَعْتَمِد على الموقع الجغرافي لتلك العقد، ويتمّ اختيار المسار بما يحقّق أكبر قدر من توفير الطاقة، وفي بعض الأحيان، وعلى وفقِ التطبيق المستخدم يجب أن تُراعى بعض العوامل الأخرى مثل: زمن الإرسال في تطبيقات نظم الزمن الحقيقي (Real Time Systems). إضافة لما سبق فإنّ بروتوكول الإنترنت يحتاج إلى صيانة جداول المسارات بصورة مستمرّة، ما يمثل عبئًا ثقيلًا على شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ من حيث استخدام الذاكرة، واستهلاك الطاقة، ويؤكّد عدم إمكانية استخدام بروتوكول الإنترنت في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

تُعدّ المحافظة على بقاء عمل الشبكة أحد أهمّ العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وتمتاز تلك الشبكات عن الشبكات التقليديّة بإمكانية إضافة مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة؛ وذلك لضمان بقاء عمل الشبكة، وكذلك للحفاظ على تواصل العقد، من خلال توفير مسارات إرسال من جميع العقد إلى المحطة الرئيسة أو على الأقل من غالبيتها، ويمكن تَكرار إضافة تلك العقد للشبكة وفق احتياجات الشبكة وظروف التشغيل، ويُعدّ حجم الشبكة وكثافة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في المتر المربع من العناصر المهمّة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، التي يجب مراعاتها عند تصميم الشبكة.

٣.٢.٣ - التّعاون في معالجة الإشارات ومعالجة البيانات

تتشارك عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في عملية جمع المعلومات ومعالجتها، وتُعدّ هذا المشاركة إحدى نقاط البحث العلميّ الجديدة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، التي ترتبط بدورها بمجال النُّظُم الموزَّعة [٧٦]. وممّا لا شكّ فيه أنّ التعاون بين المزيد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في معالجة البيانات يؤدّي إلى تحسّن الأداء، لكنّه في المقابل يحتاج إلى المزيد من موارد الاتّصالات، ومن ثمّ إلى المزيد من استهلاك الطاقة؛ ولهذا فإنّ تصميم الشبكة يجب أن يُراعِيَ التفاضلات

www.j4know.com

المتعدّدة بين جودة أداء الشبكة من جهة والمحافظة على موارد الشبكة من جهة أخرى عند دراسة التعاون بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ للمشاركة في جمع البيانات ومعالجتها.

والتعاون بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في مجال معالجة البيانات يبدأ بتلقّي العقدة معلومات من عُقْدة حسّاسات لاسلكيّة مجاورة أو من أكثر من عقدة؛ إذ تقوم العُقدة بدمج المعلومات الواردة إليها من العُقد الأخرى مع المعلومات المتوافرة لديها. أمّا دمج المعلومات فتتعدّد صوره من مجموعة من القواعد اليسيرة لاختيار أفضل نتيجة تعبّر عن المعلومة المسجّلة إلى نماذج تقنية أكثر تعقيدًا في معرفة كيفيّة إنشاء المعلومة، ومرّة أخرى تظهر هنا عمليّة التفاضل بين الأداء واستخدام موارد الشبكة؛ فعمليات الدّمج اليسيرة تستهلك القليل من موارد الشبكة، لكنّها تحقّق أداءً أقلّ من عمليات الدمج الأكثر تعقيدًا، وهي التي تستخدم موارد الشبكة بصورة أكبر، وتعتمد عمليّة المفاضلة بصورة كبيرة على التطبيق المستخدم؛ لتوفّر حلًا وسطًا يتناسب مع كلّ تطبيق، وتحسُن الإشارة هنا إلى أهميّة قيام خوارزميّات الدمج بملاحظة عمليّات تَكرار البيانات من أكثر من مسار؛ لتجنّب العدّ المزدوج للبيانات.

٤.٢.٣ - التكليف بالمهام والاستعلامات

يمكن تشبيه حقل الاستشعار[١١] (Sensor Field) بقاعدة البيانات؛ إذ يجمع حقل الاستشعار – متمثّلاً في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة – المعلومات من البيئة المحيطة، ثمّ يرسلها للمحطّة الرئيسة، وتتوزّع البيانات بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المختلفة في حقل الاستشعار، ويتمّ تجميعها من خلال الاتصال اللاسلكي بين العُقد. تظهر في مجموعة من التطبيقات الحاجة إلى قيام مشغّل الشبكة بالاستعلام عن معلومات محدّدة من حقل الاستشعار، كأنْ يستفسر مثلًا عن درجة الحرارة في منطقة محدّدة من حقل الاستشعار، أو يستعلم عن أماكن وجود مجموعة عسكريّة محدّدة في أرض المعركة. كما يمكن لمشغّل الشبكة أن يكلّف عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بمهامّ محدّدة، أو يغيّر هذه المهام أو يلغيها، كأنْ يطلب مثلًا تغيير معدّل تسجيل القراءات أو معدّل إرسال البيانات من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة إلى المحطة الرئيسة، ولضمان إبلاغ العقد بالمهام والاستعلامات المختلفة، يجب توافر برامج تطبيقية ذات واجهات رسوميّة تساعد مُشغّل الشبكة على إرسال هذه

١١- مراجع التعريف في الفصل الأول ١، ١، ٣.

www.j4know.com

المَهامّ والاستعلامات بصورة سلسة. كما يلزم أيضًا وجود لغة ميسّرة؛ لتُستخدَم في الاستعلامات المختلفة، ووجود قاعدة بيانات لجمع القياسات المسجّلة من قبل العقد المختلفة. إضافة إلى ذلك فإنّ تحدّيات التصميم في هذه النقطة تتطلب أيضًا إيجاد آليّات فعّالة لتوزيع المهام والاستعلامات على عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وكذلك خوارزميّات فعّالة في تنظيم البيانات، وتنظيم عمليات التخزين المؤقت لتلك البيانات.

٥.٢.٣ - أمن الشبكة

يُعدّ أمن الشبكة من الأمور بالغة الأهميّة التي يجب العناية بها في الشبكات اللاسلكيّة بصورة عامّة وفي شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بصورة خاصّة، ولا نقصد هنا الأمن المادّيّ لعقد الحسّاسات اللاسلكيّة – الذي هو كذلك من الأهمية بمكان – ولكن نقصد الأمن المتعلّق بعمليات الإرسال؛ أيْ ذلك الأمن الخاصّ بتأمين المعلومات عن طريق المصادقة والتشفير.

وترجع أهمّيّة أمن الشبكة إلى أنّ تبادل الإرسال عبر الهواء في الشبكات اللاسلكيّة يسمح لأيّ جهاز استقبال لاسلكي باستقبال جميع الرسائل المرسلة عبر الشبكة، ثمّ يمكن عن طريق بعض الخوارزميّات التعرّف إلى محتويات هذه الرسائل، وتزداد صعوبة اكتشاف محتويات الرسائل وفق درجة التعقيد لخوارزميّات التشفير المستخدمة في تشفير الرسائل المتبادلة عبر الشبكة [٣٩]. وتزداد أهمّيّة الأمن في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن الشبكات اللاسلكيّة التقليدية؛ نظرًا لوجود بعض هذه الشبكات في أجواء معادية، مثل تلك المستخدمة في التطبيقات العسكرية، التي تحتاج إلى أقصى درجات الأمان والسريّة، وكذلك لوجود بعض الشبكات في مساحات كبيرة بعيدة عن المراقبة المباشرة في تطبيقات أخرى، مثل تلك المستخدمة في تطبيقات مراقبة البيئة أو التطبيقات الزراعية، وتعود المفاضلة؛ لتظهر مرة أخرى في هذه النقطة؛ لتضع مصمّم الشبكة بين عاملين مهمّين يلزم الموازنة بينهما: العامل الأول هو كفاءة الخوارزميّات المستخدمة في المصادقة والتشفير، والعامل الثاني هو استهلاك الطاقة. فكلّما زادت كفاءة خوارزميات التشفير، زادت درجة تعقيدها، ومن ثمّ زادت كميّة الطاقة المستهلكة لتنفيذ هذه الخوارزميات [٢٢]. يختار مصمّم الشبكة وفق درجة الأمان المطلوبة في التطبيق الذي صُمِّمَت الشبكة من أجله، ويتأكّد لدينا مرة أخرى مدى

www.j4know.com

اعتماد تصميم شبكة الحسّاسات اللاسلكيّة على التطبيق الذي أنشئت أو صُمِّمَتْ من أجله [٩٥].

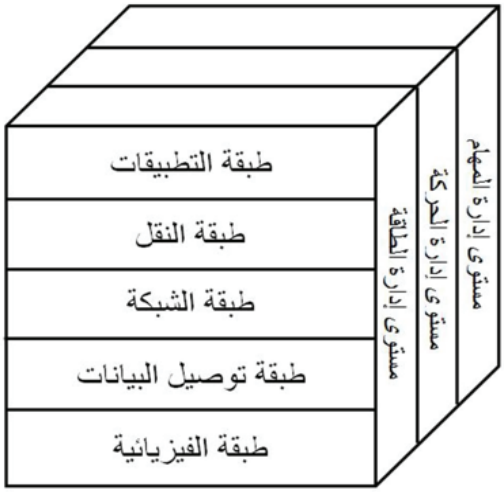
وتُعدّ عمليات المصادقة (Authentication) وإدارة المفتاح (Key Management) من العمليّات الأمنيّة الأساسيّة التي توفر اللبنة الرئيسة لتنفيذ آليات التأمين المختلفة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، إضافة إلى تأمين البيانات المرسلة عبر الشبكة، يوجد في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بعض المكوّنات الأخرى – مثل تلك الخاصّة باستكشاف مسارات الإرسال المختلفة وتحديدها – التي تتطلّب بدورها عمليّات تأمين وتشفير خاصّة في التطبيقات التي يزداد فيها احتماليّة تعرّض الشبكة لمحاولات اختراق أو تنصّت على المعلومات المتبادلة عبر الشبكة.

٣.٣ - طبقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

يوضح (شكل ٢٩) نموذجَ طبقات الشبكة المستخدم في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، الذي يجمع بين تحديد مسارات الإرسال ومراعاة إدارة الطاقة في الشبكة؛ بحيث يتمّ الإرسال في صورة موفّرة لطاقة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة. يتكوّن النموذج المُوَضَّح من خمس طبقات للشبكة، هي: الطبقة الفيزيائية (Physical Layer)، وطبقة ربط البيانات (Data Link Layer)، وطبقة الشبكة (Network Layer)، وطبقة النقل (Transport Layer)، وفي أعلاه طبقة التطبيقات (Application Layer)؛ ما يعني أنّ هذا النموذج قد اختصر طبقتين من نموذج ترابط الأنظمة المفتوحة (Open System Interconnection) أو (OSI)، وهو النموذج الأساسي المستخدم في الشبكات التقليدية، الذي يتكوّن من سبع طبقات [٨]. والغرض من هذا الاختصار هو تيسير عمل الشبكة بما يتوافق مع الإمكانات المحدودة المتوافرة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة. إضافة إلى الطبقات التقليديّة الخمس المذكورة، يتكوّن النموذج من ثلاثة مستويات مختلفة، هي: مستوى إدارة الطاقة (Power Management Level)، ومستوى إدارة التنقّل (Mobility Management Level)، ومستوى إدارة المهامّ (Tasks Management Level).

ونستعرض في السّطور التالية وظيفة كلّ طبقة من طبقات الشبكة، وكذلك دور كلّ مستوى من المستويات المختلفة في نموذج طبقات الشبكة الخاص بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

www.j4know.com



شكل ٢٩ (طبقات الشبكة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة) [١٣٦]

١.٣.٣ - الطبقة الفيزيائيّة

تتعدّد مهامّ الطبقة الفيزيائية؛ فهي المسؤولة عن اختيار التردّد الخاصّ بالإرسال، وإرسال واستقبال الإشارات من العقدة وإليها، وتضمين الإشارات المرسلة والمستقبلة، وتشفير البيانات [٥٣][٥٤]. ويتعلّق عمل الطبقة الفيزيائية بأجهزة الإرسال والاستقبال، وهو ما يجعلها مرتبطة بتكنولوجيا الاتصالات اللاسلكيّة أكثر من ارتباطها بتكنولوجيا شبكات الحاسوب، ومن ثمّ يتّضح لنا أنّ دور الطبقة الفيزيائيّة يتلخّص في تحديد الاحتياجات الخاصة بطريقة إرسال واستقبال تجمع بين اليسر والفعالية في آن واحد.

من المعلوم أنّ الإرسال اللاسلكي لمسافات طويلة يستهلك كثيرًا من الطاقة، كما يحتاج إلى درجة عالية من التعقيد في بناء أجهزة الإرسال والاستقبال؛ لذلك فإنّ تصميم الطبقة الفيزيائية يجب أن يضع في الأولويّة قضيّة توفير الطاقة؛ لأنها تمثّل حجر الزاوية في تصميم عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ومن ثمّ شبكات الحسّاسات؛ ولهذا السّبب فإنّ عامل توفير الطاقة مُقَدَّمٌ على العوامل الأخرى، مثل تأثير التّلاشي (Fading Effect) وتأثير الانتشار (Propagation Effect) [٤٧].

٢.٣.٣ - طبقة ربط البيانات

الطبقة الثانية من طبقات الشبكة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة هي طبقة ربط البيانات، وهي

www.j4know.com

مسؤولة عن تصميم البيانات (Multiplexing) وتحديد إطارات البيانات المرسلة (Framing) واكتشاف إطارات البيانات التي يتمّ استقبالها، والتحكّم بالوصول إلى الوسائط (MAC). وهي المسؤولة كذلك عن التحكم في عملية اكتشاف الأخطاء في البيانات التي يتمّ استقبالها [٥٥]. كما تضمن طبقة ربط البيانات توثيق وجودة الاتصال عبر توصيل موثوق من نقطة لنقطة (Point-to-point connection) أو عبر توصيل موثوق من نقطة لعدّة نقاط (Point-to-multipoint connection). وفيما يلي سنعرض – بمزيد من التفصيل – أهمّ عمليتين تقوم بهما طبقة ربط البيانات، وهما: عملية التحكّم بالوصول إلى الوسائط، وعملية التحكّم في الأخطاء واكتشافها.

العمليّة الأولى هي عمليّة التحكّم بالوصول إلى الوسائط، وتمثّل البيئة والظروف المحيطة تحديًّا لهذه العمليّة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة. فمن ناحيةٍ يَصْعُبُ التحكّم في البيئة المحيطة بالشبكة التي تكون عادة مليئة بالضجيج الإلكتروني (Noise)، ومن ناحيـة أخرى فإنّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة قد تكون متحرّكة في بعض التطبيقات؛ ما يحتّم على بروتوكولات التحكم بالوصول إلى الوسائط أن تكون على إحاطة تامّة بمستوى الطاقة في العقدة، وبكميّة الطاقة المستهلكة في الاتصال [٥٢]. ويتوجّب على هذه البروتوكولات كذلك أن تعمل على الحدّ من تصادم الإشارات المرسلة في الشبكة من قبل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المختلفة، وتُعدّ الوظيفة الأساسية لبروتوكولات التحكم بالوصول إلى الوسائط هي خلـق البُنية التحتيّة للشبكة من خلال تحديـد العُقد المجاورة، وعمل روابط اتصال معها، ومن ثمّ يجب على بروتوكولات التحكم بالوصول إلى الوسائط إقامة صلات توصيل بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي يكون عددها بالعشرات، وقد يصل هذا العدد في بعض التطبيقات للألوف. تمثّل هذه الصِّلات بين عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة المختلفة البُنية التحتيّة للشبكة التي تضمن الاتصال بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّـة المختلفة وصولاً للمحطة الرئيسة، وتعطيها كذلك القدرة على تنظيـم الشبكة ذاتيًّا دون تدخّل خارجـي، ودون وجود أجهزة توجيه مساعدة. يجب على بروتوكولات التحكّم بالوصول إلى الوسائط أداء دورٌ مهمٌّ، وهو توزيع المصادر المختلفة بصورة عادلة بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لضمان عمل الشبكة لأطول وقت ممكن.

الوظيفة الثانية التي تقوم بها طبقة ربط البيانات هي التحكم في الأخطاء واكتشافها في البيانات

www.j4know.com

المُرسَلة من عقـدة الحسّاسات اللاسلكيّة وإليهـا، وهنا يتحتّم المفاضلة بـين النوعين التقليديين المستخدمين في شبـكات الحاسبات؛ النوع الأول هو طلـب إعادة الإرسـال الآليّ (Automatic Repeat Request) الذي يعتمد على إعادة الإرسال عند وجود أخطاء في الرسالة، ويعيب هذا النوع استهلاك كثير من الطاقة الموجـودة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في حالة إعادة الإرسال عند وجود أخطاء في الرسائل المرسلة. النوع الثاني هو تصحيح الخطأ الأمامي (Forward Error Correction)، الذي يعتمد على بناء نظام؛ لاكتشاف الأخطاء، يسمح باكتشافها عند المرسل إليه، وبعد ذلك يتمّ في الغالب الاستغناء عن عملية إعادة الإرسال، ويعيب هذا النوع الحاجة إلى إجراء كثير من عمليّات معالجة البيانات في العُقدة، وهو ما يمثّل عبئًا على عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لمحدوديّة إمكانيات المعالجة في تلك العُقد [٧]. ومن ثمّ فإنّ المفاضلة بين الأسلوبين مهمّة لاختيار النظام الأمثل، وفق التطبيق الذي تُستخدَم فيه العُقد.

٣.٣.٣ - طبقة الشبكة

الطبقة الثّالثة هي طبقة الشبكة، وهي مسؤولة عن التعامل مع البيانات القادمة من طبقة النقل في حالة الإرسال، وتتركّز وظيفة طبقة الشبكة في تحديد مسار الإرسال للبيانات المرسلة، وتحديد مسارات بديلة في حالة إخفاق المسارات الأصلية، وعادة مـا نجد أنّ التقنيات التقليديّة الخاصّة بهذه الطبقة لا تصلـح في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ وذلـك للأسباب التي سبق ذكرها عن تميّز شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن الشبكات التقليدية؛ ولذلك نجد أنّ تصميم طبقة الشبكة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة يؤكد عدة اعتبارات:

١. التوفير في استخدام الطاقة، الـذي يُعدّ أهمّ العوامل المأخـوذة في الاعتبار في جميع الطبقات؛ وذلك من أجل إطالة عمر عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، ومن ثمّ عمر الشبكة.
٢. الاعتماد على مفهوم التَّمَحْوُر حول البيانات، وليس حول نقاط الشبكة كما هو الحال في الشبكات التقليدية.
٣. تجميع البيانات ما لم يتسبّب ذلك في إعاقة جهود التعاون والتواصل بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة.

www.j4know.com

٤. قدرة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على التعرف إلى العقد المجاورة لها، وإمكانيّة تحديد الإحداثيّات الجغرافية للمكان الذي توجد فيه.

عادة ما يتمّ اختيار مسارات الإرسال في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بناءً على كمّيّة الطاقة الموجـودة في العقد التي تكوّن المسـار، فكلّما كان لـدى العقد المزيد من الطاقـة كان المسار أكثر تفضيـلًا. كذلك يتمّ اختيار المسـار بناءً على كمّيّـة الطاقة التي سيتـمّ استهلاكها عبر الروابط الموجودة في هذا المسار.

يمكـن تقسيم بروتوكولات الإرسـال المستخدمة في شبـكات الحسّاسـات اللاسلكيّة في طبقة الشبكة إلـى ثلاثة أنواع رئيسة، هـي: التوجيه المتسـاوي (Flat Routing)، والتوجيـه الهَرَمِيّ (Hierarchical Routing) والتوجيـه المعتمِـد على الموقـع (Location-based Routing) [٢]. النوع الأول – وهو التوجيه المتساوي – يعتمد على قيام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة جميعها بدور متساوٍ في عمليات إرسال البيانات، أمّا التوجيه الهَرَميّ فيقوم على فكرة الاعتماد على بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لتقوم بدورٍ أكبرَ في عمليات الإرسال، وذلك بأن يتمّ اختيار عُقدة من ضمن كلّ مجموعة من العقد؛ لتؤدّي دور رئيس المجموعة، فتجمع البيانات من مجموعة العقد التي تتولّى رئاستها، ثم تُرسِل جميع البيانات إلى المحطة الرئيسة [٨١]. أمّا فكرة النوع الثالث – وهو توجيه الإرسال وفق الاعتماد على الموقع – فتقوم على الاستفادة من معرفة أماكن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لتوجيه البيانات إلى مناطق محدّدة بدلًا من توجيهها للشبكة كلّها [٣٦][٤٨].

٤.٣.٣ - طبقة النقل

الطبقة الرابعة هي طبقة النقل، وتظهر الحاجة إلى هذه الطبقة عندما تكون الشبكة مصمّمة؛ بحيث يتمّ توصيلها بشبكة الإنترنت أو بأيّ شبكة خارجية أخرى. لا يوجد مِنْ البروتوكولات المتوافرة لطبقة النقل في الشبكات التقليديّة ما يناسب احتياجات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لذلك كان لزامًا أن يتمّ توفير بروتوكولات جديدة تتناسب مع طبيعة شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ فعلى سبيل المثال لا يمكن استخدام بروتوكول التحكّم بالنقل (Transmission Control Protocol) أو (TCP) بصورته الحاليّة في شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لأنه – بعكس بروتوكول التحكم

www.j4know.com

بالنقل (TCP) – لا تستند عمليات الاتصال بين عُقَد الحسّاسات إلى نظام عامّ لعناوين النقاط في الشبكة، لكنّ يتم التمييز بين العُقد المتجاورة فقط من دون وضع عنوان مختلف لكلّ عقدة [١٧].

في حالة ما إذا كان هناك تواصل أو ارتباط مع شبكة الإنترنت أو شبكات خارجية أخرى، فإنّ الاتصال بين شبكة الإنترنت والمحطة الرئيسة يمكن أن يكون من خلال بروتوكول التحكم بالنقل، على أنْ يقوم بروتوكول آخر بتوفير التواصل بين المحطة الرئيسة وعُقد الحسّاسات اللاسلكيّة على مستوى طبقة النقل، وفي هذا الصدد يمكن استخدام بروتوكول بيانات المستخدم (User Datagram Protocol) أو (UDP) للقيام بهذا الدور بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من جهة، والمحطة الرئيسة من جهة أخرى.

٥.٣.٣ - طبقة التطبيقات

الطبقة الخامسة الأخيرة هي طبقة التطبيقات، وتختصّ هذه الطبقة بإنشاء برامج خاصة بتطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، مع التركيز على عملية التوفير في الطاقة. وتعتمد هذه البرامج على بعض العمليات الأساسية التي يُحتاج إليها في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تبعًا للتطبيقات المستخدمة، ومن هذه العمليات – على سبيل المثال – إرسال رسالة بمهامّ محدّدة لجميع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في الشبكة، ويمكن كذلك الإرسال إلى بعض العُقد، بناء على معيار محدّد، مثل: اختيار العقد الموجودة في منطقة محدّدة، أو اختيار العقد التي تقيس عاملًا طبيعيًّا محدّدًا. من العمليّات الأخرى التي تتم في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، عمليات الاستعلام عن عامل طبيعي محدّد، سواءٌ أكان هذا الاستعلام مشروطًا بقيمة محدّدة أم لا، وغير ذلك من العمليّات التي تحتاج إلى تصميم برامج خاصّة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة.

٤.٣ - مستويات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

تقوم المستويات الثلاثة (راجع شكل ٢٩) على مساعدة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على إدارة عمليّة توفير الطاقة، وعمليّة التنقل من مكان لآخر، وعلى القيام بالمهامّ المختلفة التي يتمّ تكليف العقدة بالقيام بها. وترجع أهمية هذه المستويات الثلاثة؛ لقيامها بمساعدة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على العمل بصورة موفّرة للطاقة، وعلى تحديد مسارات إرسال حتّى في حالة تنقّل

www.j4know.com

العُقَـد، وأخيرًا على مراعاة هذه المستويـات لعملية تقاسم الموارد المختلفة بـين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة.

١.٤.٣ - مستوى إدارة الطاقة

مستوى إدارة الطاقة هو المسؤول عن التحكّم في كيفية استهلاك عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة لطاقتها؛ فيمكن مثلًا أن تُغلق العقدة جهاز الاستقبال فور استقبال رسالة من إحدى العقد المجاورة لها؛ وذلك لتجنّب القراءة المتكرّرة للرسائل، كذلك تُبلغ العقدة – عند انخفاض مستوى الطاقة فيها – جميع العُقد المجاورة بذلك؛ لكي يتمّ استبعادها من عملية توصيل الرسائل، وتكتفي هذه العقدة بعمليات الاستشعار وإبلاغ نتائج القياسات للعقد المجاورة؛ لتوصلها الأخيرة عبر مسارات الإرسال إلى المحطة الرئيسة.

٢.٤.٣ - مستوى إدارة النقل

يُتابع مستوى إدارة التنقل حركة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة ويسجّلها؛ بحيث يكون مسار نقل البيانات من العُقـدة إلى المحطة الرئيسة عبر العُقد الأخرى متاحًا بصورة دائمة. كما يتيح ذلك لكلّ عقدة من عُقَد الشبكة فرصة التعرف إلى العقد المجاورة لها، ومن ثمّ تستطيع العقد موازنة استهلاك الطاقة فيما بينها، وكذلك توزيع المهامّ بصورة متساوية.

٣.٤.٣ - مستوى إدارة المهامّ

يوزّع مستوى إدارة المهامّ عمليات الاستشعار في المناطق المختلفة من الشبكة ويُجدولها. فليس ضروريًا أن تقوم جميع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بعملية الاستشعار نفسها في المنطقة ذاتها في الوقت عينِه، بل يكفي أن تقوم فقط بعض العقد بهذه المهمة؛ إذ يحقّق توزيع مهامّ الاستشعار على العقد المختلفة توفيرًا كبيرًا في الطاقة الكهربائية للعُقد، كما يسمح بقيام العقد ذات الطاقة الكبرى بالقيام بمهامّ الاستشعار والإرسال أكثر من العُقد صاحبة الطاقة الأقل.

٥.٣ - توزيع الشبكة

يقصد من عمليـة توزيع الشبكة أماكن وجود عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة في الشبكة، ويمكن وصف طريقة توزيـع العقد في الشبكة بصورة عامّة عن طريق الإجابة عن السؤال الآتي: في حالة وجود سياق محدّد لأحد التطبيقات، ووجود مساحة معيّنة يجب أن تغطيها الشبكة، وتوفّر مجموعة

www.j4know.com

محدّدة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، فما الأماكن الأنسب لوضع العُقد؟

تتلخّص الإجابة عن هذا السؤال في أنّ عملية توزيع العقد في الشبكة يجب أن تحقق هدفين رئيسين: الأوّل التغطية الشاملة لمساحة الشبكة، والثاني إمكانية التواصل بين العُقد؛ بحيث نضمن وصول القياسات المختلفة للمحطة الرئيسة؛ فالهدف الأوّل يحقّق السبب الأصليّ الذي من أجله أنشئت شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وهو قياس بعض العوامل الطبيعيّة في مساحة محدّدة. أمّا الهدف الثاني فهو الضمان والسبيل لتحقيق الأوّل؛ بحيث يتمّ نقل المعلومات من محلّ تسجيلها (أي العقد) إلى محلّ الاستفادة منها (أي المحطّة الرئيسة) [١٨]. إضافة إلى الهدفين الأساسيين يوجد عوامل أخرى يجب أخذها في الاعتبار، مثل: التكلفة الماديّة، والقيود الخاّصة بقدرة الطاقة الكهربائيّة للعُقد.

١.٥.٣ - التوزيع الهيكليّ والتوزيع العشوائيّ

عند الحديث عن توزيع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة لا بدّ من التطرّق إلى نقطة مهمّة، وهي تلك الخاصة بظروف المنطقة التي يتمّ فيها نشر الشبكة؛ ففي بعض الأحيان يكون توزيع العقد بصورة منتظمة أمرًا صعبًا، وفي أحيان أخرى يكون هذا مستحيلًا، ومن أمثلة ذلك شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في التطبيقات الحربية، وفي بعض المناطق الوعرة، مثل: الغابات، والأحراش، والجبال.

في حالة التّوزيع المنتظم يتمّ توزيع العُقَد بصورة تضمن التغطية والتواصل كما سبق توضيحه، مع وضع المحطة الرئيسة في مكان متوسّط من العقد بقدر الإمكان [٨٣]. أمّا في حالة التوزيع العشوائي فإنّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة عادة ما يتمّ قذفها من طائرة؛ وبذلك فإنّ أماكنَ العُقَد تَكُونُ غيرَ محدّدة بدقّة [٢٩]. يتمّ وضع المحطّة الرّئيسة في مكان محدّد، وغالبًا ما يكون تحديد المكان إجباريًا؛ إذ يجب أن يتوافر فيه مصدرٌ دائمٌ للطّاقة الكهربائية، وكذلك اتّصالٌ ثابتٌ بشبكة الإنترنت أو بشبكة خارجية، وعادة ما يكون هذا المكان على طرف الشبكة، ويمكن تشغيل الشبكة للتأكد من التغطية والاتصال، وفي حالة عدم تحقيق التغطية والاتّصال أو أحدهما، يمكن إضافة المزيد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة – إن كان ذلك متاحًا – لتحقيق الهدف الغائب، وعادة ما

www.j4know.com

يتم تمثيل التوزيع العشوائي؛ لعقد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة من خلال نظريّة الرسم البياني العشوائيّ (Random Graph Theory) [١٠][٨٢] إذ يوجد العديد من النماذج الخاصة بهذه النظريّة، التي تمّ استخدامها بنجاح في العديد من الأبحاث العلميّة، للتعبير عن التوزيع العشوائي للعقد في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة[٢٦][٥١].

www.j4know.com

www.j4know.com

الفصل الرّابع

تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة

كانـت بداية استخدام شبكات الحسّاسـات اللاسلكيّة – كما سبـق وأشرنا – في التطبيقات العسكريّة، مثل عمليّات الرصد والتّتبع ومراقبة الحدود، ومع تطوّر شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وانتشارها ظهر كثير من التطبيقات المدنيّة المختلفة لهذا النوع من الشبكات [٦٩]. من أمثلة هذه التطبيقات: مراقبة البيئة (الغابـات، والمحيطات، والزراعة... إلـخ)، ومراقبة الحياة الطبيعيّة (الحيوانات البرية والكائنات البحرية)، ورصد ومتابعة الحالة الصحية للبشر، ومراقبة المخازن، ومتابعة أداء الآلات المختلفة في المصانع ومراقبتهـا، ورصد كثافة حركة المرور وأحوال الطرق في المدن الكبيرة، كما تستخدم في المدارس والبيوت وأماكن العمل للمراقبة والمتابعة، وكذلك لرصد حالة المباني والمنشـآت، واكتشاف حدوث شقـوق أو تصدّعات في الأعمـدة [٤١][٦٦]. وهناك المزيـد من التطبيقات التي تشمـل إدارة النظم الفيزيائيّة المعقّدة مثـل: أنظمة الطيران والنظم البيئية المتقدمة، إضافة إلى كثير من التطبيقات الأخرى الخاصة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ فالتطبيقات كثيرة ومتنوّعة لكونها متعلّقة بالحياة والطبيعة التي يعيش الإنسان فيها أو بجوارها.

وتختلف عوامل تصميم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة باختلاف التطبيق الذي تستخدم فيه؛ إذ يكون لكلّ تطبيق مجموعة عوامل خاصة تتناسب مع احتياجات هذا التطبيق وطبيعته وظروفه، ومن أمثلة العوامل التي تتغير من تطبيق لأخر: كثافة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المنتشرة في الشبكة، وبروتوكول الإرسال المستخدم، وموثوقيّة البيانات المرسلة، وجودة الخدمة، والحدّ الأقصى لزمن وصول المعلومات، ومدى الإرسال، والتردد الراديويّ المستخدم، وطاقة البطاريّة المستخدمة في عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وغير ذلك [٤٥].

يمكن تصنيف تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة إلى عدّة تقسيمات رئيسة منها: التطبيقات العسكريّـة، والبيئيّة، والإنشائيّـة، والصناعيّة، والزراعيّـة، والتجاريّة، والصحيّـة، والرياضيّة، وتطبيقات المدن الذكيّة، وتطبيقات الإنسـان الآلي، ومن الممكن التوسّع في هذا التصنيف ليشمل عدة تطبيقات منها: استكشاف الفضاء، والمعالجة الكيميائيّة، والإغاثة من الكوارث، ونعرض فيما

www.j4know.com

يلي كثير من تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المجالات المختلفة.

١.٤ - التطبيقات العسكريّة

تُعدّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وثيقة الصِّلة بالتطبيقات العسكريّة، وفي الواقع، فإنّه من الصعب تحديد إذا ما كان تصنيع عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ بسبب الحاجة إليها في التطبيقات العسكرية، أم أنها صُنعت بصفتها اختراعًا مستقلًّا، ثمّ اُسْتُخْدِمَتْ بعد ذلك في المجالات العسكرية.

يمكن استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في العديد من التطبيقات والعمليّات العسكرية؛ إذ تتميّز شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بالعديد من الخصائص التي تؤهّلها للقيام بدور مهمّ وبارز في هذه التطبيقات؛ فالعُقدة الواحدة تؤدي عدّة مهامّ: الاستشعار، ومعالجة البيانات ثم الإرسال لاسلكيًّا، ويمكن بسرعةٍ وسهولةٍ نشرَ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في المنطقة المراد تغطيتها بالشبكة، ومن أهـمّ ما يميز شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة كذلك هـو اعتمادها على انتشار عدد كبير من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في الشبكة، ومِن ثـمّ عدم تأثر الشبكة بفقد عُقدة واحدة أو أكثر من العُقد الموجودة بها، بل وقدرتها على إعادة بناء هيكل الشبكة بصورة سريعة بعد فقد العقد، وهو ما يتناسب مـع التطبيقات العسكريّة التي قـد تتعرّض فيه عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة للفقد أو التدمير بصورة مكثفة خاصـة في المعارك الحربيّة. أخيرًا تتميّز شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة بكونها قادرة على اكتشاف الأخطاء واكتشاف عمليّات اختراق الشبكة.

توجد استخدامـات وتطبيقات كثيرة متعـدّدة لشبـكات الحسّاسات اللاسلكيّـة في الجوانب العسكريّة، ومن تلك التطبيقات: مراقبة القوات الصديقة ومتابعتها من أفراد ومعدّات وذخائر، ومراقبة ساحة المعركة وأماكن القتال، والمساعـدة على استهداف قوات العدو، وتقييم الضرر في قوات الجانبين أثناء المعركة وبعدها، واستطلاع عمليـات الهجوم النوويّ والبيولوجيّ والكيميائيّ واكتشافه.

١.١.٤ - رصد القوّات الصّديقة

باستخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة يستطيع قادة الأركان – وكذا القادة الميدانيون – رصد حالة القوّات الخاصّة بهم باستمرار ومتابعتها، ومدى توافر المعدّات والذخائر في ساحة المعركة؛

www.j4know.com

إذ يمكـن إضافة عُقَـد حسّاسات لاسلكيّة لكلّ ضابـط وجندي بالمعركة، وكذلـك يمكن إضافتها للمعدات والمركبات والذخائر؛ بحيث تتّصل تلك العقد الدقيقة فيما بينها؛ لتنقل المعلومات الخاصّة بكلّ منها وتوصيلها للمحطة الرئيسة، التي تُرسل – بدورهـا – هذه المعلومات للتسلسل الهرمي للقيادات العسكريّة على جميع المستويات، وعلى هذا تتكوّن لدى القيادة العسكرية صورة واضحة عن إصابات القوات العسكريّة، وتعطّل المعدات أو تدميرها، ومدى توافر الذخائر من عدمه؛ ومن ثم تتمكّن القيادة العسكريّة من اتخاذ القرارات المناسبة في الأوقات المناسبة تبعًا لتقديرات دقيقة من ساحات القتال المختلفة: البرّيّة والبحريّة والجويّة.

٢.١.٤ - مراقبة ساحة المعركة

يمكن نشر العديد مـن عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بكلّ سرعـة ويسر، لتكوّن بذلك شبكة من الحسّاسات اللاسلكيّة؛ تُراقـب الطرق، والمسارات، والمضايق، وكذلـك الأماكن ذات التضاريس الصعبة، ومن ثمّ تستطيع شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة إعطاء صورة متكاملة عن أرض المعركة ومراقبة القوّات المعادية من كثب. وبتطوّر العمليات العسكرية يمكن نشر المزيد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لمتابعة تطوّر الوضع في الأماكن المختلفة.

٣.١.٤ - الاستهداف

يمكن لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة أن تؤدّي مهمّات استخباراتيّة مهمّة على أرض العدو؛ حيث تستطيع أن تحدّد أهداف العدو بدقّة، ومن ثم يمكن نقل هذه المعلومات للقوّات المختلفة (طائرات حربيّة أو معدات مدفعيـة... إلخ)؛ كي تستطيع إصابة الهدف باستخـدام الذّخائر الذكيّة، التي يمكن إعادة توجيهها بعد إطلاقها باتجاه الهدف؛ حيث تُحدِّد شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة أيّ تحرك للهدف أو تغير لموقعه؛ لتستفيد القوات الضاربة من هذه المعلومات في إعادة توجيه الذخيرة نحو المكان المناسب.

٤.١.٤ - تقييم نتائج المعركة

يمكن تقويم نتائج المعركة وتحديـد الأضرار الناجمة عنها عن طريق نشـر عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة قبل المعركة أو بعدها، ولا يقتصر ذلك على القوّات والمعدّات العسكريّة فحسب، بل يمتد

www.j4know.com

إلى الأماكن المدنيّة، ودراسة التلّوث والتأثير في البيئة، وغيرها من الأضرار التي قد تتعرّض لها المناطق المختلفة بعد وقوع المعارك.

٥.١.٤ - الكشف عن الهجمات النوويّة والبيولوجيّة والكيميائيّة

يُعدّ الكشف عن حالات الهجوم النووي، وكذلك عن حالات الحروب الكيميائيّة أو البيولوجيّة بصورة مبكرة عاملًا حاسمًا في التقليل من الأضرار الناجمة عن تلك الهجمات؛ إذ يمكن العمل على تقليل تلك الأضرار على مستويين متوازيين: المستوى الأول هو محاولة إجلاء البشر من الأماكن المُصابَة بأسرع ما يمكن؛ للحدّ من الخسائر البشرية سواء بتقليل الإصابات المميتة، أم تلك التي تسبّب حالات صحية حرجة أو إصابات مزمنة. أمّا المستوى الثاني فيتمثّل في محاولة صدّ هذا الهجوم مبكرًا، سواء بهجوم عسكري أم بالمعالجة الكيميائيّة أو البيولوجيّة المضادّة؛ للحدّ من آثار هذا الهجوم، ويتمثّل دور شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في هذا المجال في نشر عُقَد حسّاسات لاسلكيّة تستطيع رصد أيّ هجوم نووي أو بيولوجي أو كيميائي في المناطق المعرَّضَة لمثل هذا الهجوم. كذلك يمكن لتلك الشبكات اكتشاف أيّ تسرّب نوويّ أو غيره من القوّات الصديقة؛ للعمل على معالجة هذا التسرّب بأسرع وقت ممكن.

٢.٤ - تطبيقات رصد البيئة

يوجد كثير من التطبيقات الخاصّة بشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة التي ترتبط برصد البيئة المحيطة بالإنسان، منها ما يُستخدَم في رصد الحياة البرية والبحرية، ورصد كوكب الأرض، واستكشاف الفضاء، ورصد تلوث الهواء واكتشافه، ورصد الحياة الطبيعة، مثل: البراكين، وجبال الثلج، والغابات، والمحيطات، والبحار، والأنهار، وغيرها، كما سنتعرَّض له تفصيلًا في النقاط القادمة.

١.٢.٤ - الحياة البرّيّة

تشتمل هذه التطبيقات على كثير من الأمور التي تتعلّق بحماية الحياة البرّيّة، والاهتمام بالكائنات المهدَّدة بالانقراض، ودراسة سلوك الحيوانات والطيور وغيرها. ومن ذلك مراقبة حركة الطيور، والحيوانات البرية، والحشرات.

www.j4know.com

وكان من أولَيَات الدراسات التي تمّ تنفيذها في هذا المجال بناء شبكة حسّاسات لاسلكيّة مؤلَّفة من اثنتين وثلاثين عقدةَ حسّاساتٍ لاسلكيّة في إحدى الجزر في الولايات المتحدة الأمريكية تُسَمَّى جزيرة البطّ (Great Duck Island)؛ حيث استخدمت هذه الشبكة في رصد البيئة في تلك الجزيرة، ومراقبة طائر النوء الشهير [٣]. استخدمت في هذه الدراسة عُقَد حساسات لاسلكيّة لديها القدرة على قياس درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، والضغط الجوي. كما تم الاستعانة بأجهزة حساسات أخرى تستخدم الأشعة تحت الحمـراء (Infrared) ومقاومات ضوئيّـة (Photoresistors)؛ لرصد حركة الطيور داخل أعشاشها. كان الهدف من هذه الشبكة هو رصد البيئة المحيطة بطائر النوء ومتابعتها، ودراسـة سلوك هذه الطيور وفقًا للتغيّرات المناخيـة التي تتعرّض لها، ومن أجل هذا الغرض تمّ وضع بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في أعشاش الطيور؛ وذلك لمعرفة وقت وجود الطيور في أعشاشها ومدّتها، أمّا بقية عُقَد الحسّاسـات اللاسلكيّة المُسْتَخْدَمَة فقد تمّ وضعها في البيئة المحيطة.

كما رَصَدت دراسة أخرى أحد الأنواع النادرة من الذئاب ومتابعتها؛ إذ تمّ وضع مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في منطقة محدّدة تعيش فيها تلك الذئاب، في حين تمّ تثبيت مجموعة أخرى من العُقَد في أجساد الذئاب نفسها، وهذا التطبيق يعدّ مثالًا على التطبيقات التي تجمع بين عُقَد حسّاسـات لاسلكيّة جوّالة وأخرى ثابتة؛ إذ تعمل العقد الجوّالـة المُثَبَّتَة في الذئاب على جمع أكبر قدر من المعلومات عن الذئاب، ثمّ ترسلها إلى العقد الثابتة عند المرور بالقرب منها، فترسل الأخيرة المعلومات للمحطات الرئيسة في الشبكة [١٢٠].

وهناك العديد من الدراسات الأخرى التي تمّت أو لا تزال قائمة على دراسة الحياة الطبيعيّة لحيوانات أخرى، سنكتفي بالإشارة إلى بعض تلك التطبيقات؛ وذلك لكثرتها وتعددها: ففي أحد التطبيقات تمّ متابعة مسار الطيور المهاجرة أثناء الهجرة وحركتها. وتطبيق آخر راقب بعض أنواع الغزلان المهدّدة بالانقراض في الصحاري. إضافة إلى الدراسات السابقة عن الحياة البريّة، فقد انتشر خلال السنوات القليلة الماضية استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في متابعة الحيوانات المُستأنسة، خاصّة داخل المزارع الشاسعة لمتابعة حالة هذه الحيوانات، وتأثير العوامل المختلفة من

www.j4know.com

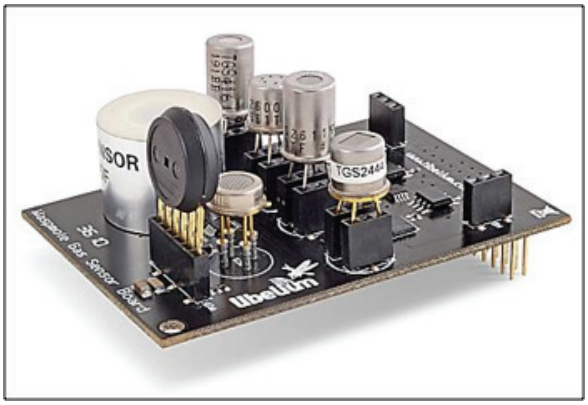
درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وكمّية الغذاء ووقته، وغيرها على إنتاج هذه الحيوانات من: ألبان ولحوم وفراء ونحو ذلك.

٢.٢.٤ - تلوّث الهواء

تلوّث الهواء مـن أهمّ المشكلات المُعاصِـرة التي تواجه العالم، وتُجْـرَى العديد من الدراسات المتخصّصة في هذا المجال؛ لرصـد الأسباب ومحاولة علاجها للتقليل من تلوّث الهواء الذي يؤثر بصورة مباشرة على الصّحّة العامة للبشر، وقد يؤدّي وصول هذا التلوث لدرجات معينة في بعض المناطق إلى وجود خطورة حقيقة على حياة البشر في تلك المناطق.

ينتج تلوّث الهواء بسبب النفايات المختلفة من مخلّفات منزليّة وصناعيّة وزراعية ونووية وغيرها، وعادة ما يجرى التخلّص من النفايات المنزلية الصلبـة والنفايات الصناعية غير الخطرة، مثل مخلّفات البناء باستخـدام مكبّات النفايـات؛ إذ تخضع هذه النفايات لمجموعـة من التفاعلات الكيميائية والبيولوجية، مثـل التخمّر والتحلّل البيولوجي والأكسـدة، وتتسبّب هذه التفاعلات في انبعاث العديد من الغازات الضارة كغاز الميثان، وثـاني أكسيد الكربون، والنيتروجين، ومركبات الكبريتيد، والأمونيـا، التي تعدّ المصدر الرئيسـ في تلوث الهواء، وتتسبّـب في أضرار في الجهاز التنفسي، كمـا أنّها تؤدّي إلى ثقب طبقـة الأوزون. تقوم الطريقة التقليديّـة المُستخدَمة حاليًّا في قياس نسبة تلـوث الهواء ورصدها على جمع عينات من الهواء في أكياسـ هوائيّة، ثمّ نقلها لمكان آخر؛ لفحصها وتحليلها وتسجيل نسب التلوث المختلفة، ومـن المُلاحَظ أنّ هذه الطريقة تستغرق وقتًا طويلًا، ولكنْ أصبَح من الممكن الآن استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بوضعها في أماكن متعدّدة داخل مكبّات النفايات وخارجها؛ لقياس انبعاث الغازات المختلفة ومعرفة نسبة كلّ منها؛ للتحرّز من تخطّـي النسبة القصوى المقررة، ما يساعد في الحفاظ علـى البيئة، ويُمكّن العاملين من وقف عمل مكبّات النفايات في الحالات الخطيرة، ويسمح للباحثين بالتعرّف بصورة دقيقة إلى أسباب انبعاث الغازات بنسب عالية، ومن ثمّ العمل على معالجة هذا الأمر وتلافيه.

www.j4know.com



شكل ٣٠ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم للكشف عن الغازات) [١١٤]

تستطيع بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة قياسَ العديد من الغازات المختلفة. يظهر في (شكل ٣٠) صورة لواحدة من لوحات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي تُستخدَم في قراءة نسبة الغازات الموجودة في الجو لعدد من الغازات منها: أوّل أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، والأوكسجين، والميثان، والهيدروجين، والأمونيا، والأيزوبوتان، والإيثانول، والتولين، وكبريتيد الهيدروجين، وثاني أكسيد النيتروجين، والأوزون، والمركّبات العضويّة المتطايرة ورصدها؛ إذ يمكن الاستفادة من رصد نسبة أوّل أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد النيتروجين، والأوزون في رصد تلوث الهواء في المدن، في حين يمكن الاستفادة من هذا النوع نفسه من العقد في مزارع الدواجن، ومزارع الماشية؛ وذلك لرصد كلّ من غاز الميثان، وغاز كبريتيد الهيدروجين، وغاز الأمونيا؛ لمعرفة نسب انبعاث هذه الغازات؛ حتّى لا تتعدّى النسب المسموح بها. كما يمكن استخدام الحسّاسات الخاصّة برصد نسبة غاز أول أكسيد الكربون، وغاز ثاني أكسيد الكربون، إضافة إلى حسّاسات لقياس درجة الحرارة، وحسّاسات لقياس الأشعة فوق الحمراء أو الموجات فوق الصوتيّة؛ للاستخدام في الاكتشاف المبكر للحرائق. وأخيرًا يمكن الاستفادة من رصد نِسَب غاز البوتان، وغاز الهيدروجين، والمركّبات العضويّة المتطايرة في إدارة العمليّات الكيميائيّة والصناعيّة المختلفة، خاصّة في الأماكن التي يُشكل الوجود فيها خطرًا على الإنسان.

هذا ولا يقتصر استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المُخصّصة لقياس نِسَب الغازات المختلفة في الهواء على التطبيقات السابقة فحسب، لكنْ يمكن استخدامها كذلك في مصانع الكيماويات،

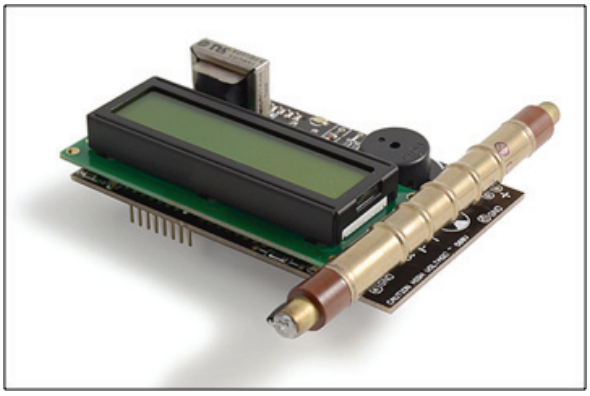
www.j4know.com

والبتروكيماويات، ومصانع إنتاج المعادن، وفي محطات توليد الطاقة بالفحم، وفي مصافي النفط، كما تستخدم أيضًا في قياس نسبة تلوث الهواء في المدن؛ وذلك بسبب التلوث الشديد الذي يحدث في الهواء الناتج عن انبعاث الغازات الضارة من عوادم السيارات، خاصّة في أوقات ازدحام المرور.

٣.٢.٤ - التلوّث الإشعاعي النوويّ

انتشرت المفاعلات النوويّة خلال القرن الماضي في العديد من الدول الكبرى، وكان الاستخدام الشائع لتلك المفاعلات هو تصنيع الرؤوس النوويّة للصواريخ، ولكن امتدّ استخدام هذه المفاعلات النووية ليشمل إنشاء الكثير من المفاعلات التي تستخدم لتوليد الطاقة، ومع أنّ بعض الدول اتّجهت لوقف توليد الطاقة من هذه المفاعلات نظرًا لخطورتها، إلّا أنّه لا يزال كثير من هذه المفاعلات يعمل في تطبيقات مختلفة، ومعَ تقدّم الأمن الصناعي، وارتفاع عوامل الأمان في هذه المفاعلات، إلّا أنّ حدوث أيّ مشكلة – ولو صغيرة – في واحد من هذه المفاعلات قد يؤدي إلى كارثة بيئيّة، وربّما يتسبّب في وفاة المئات وربّما الألوف من البشر. يمكن استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في هذه المفاعلات لقياس العديد من العوامل، وتمتاز شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بإمكانية نشرها بسهولة، وتغيير أماكنها قبل التشغيل وأثناءَه وبعدَه، ويمكن وضعها في الأماكن التي يصعب على البشر الوصول إليها، سواء أكان ذلك راجعًا إلى طبيعة المكان كصغر الحجم، أم بسبب خطورته على البشر. عادة ما يتمّ ذلك باستخدام الإنسان الآلي (الروبوت). كما يمكن استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في حالة حدوث تسرّب إشعاعي من هذه المفاعلات؛ إذ يمكن إلقاء عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة من مسافة بعيدة باستخدام الطائرات، ويحتاج نشرها إلى وقت قليل جدًا، حيث يكون عامل الزمن مهمّ ومؤثّر لأقصى درجة في مثل هذه الحالات الطارئة الخطرة التي قد تودي بحياة كثيرين. يوضّح (شكل ٣١) صورة لوحة عُقَد لاسلكيّة تستخدم لرصد مستويات الإشعاع لاسلكياً، عن طريق قياس نسبة أشعة بيتا وأشعة جاما في منطقة محدّدة؛ ما يسمح بإنشاء شبكات لاسلكيّة في محيط المحطات النووية، تعمل على مراقبة أيّ تسرب في هذه المحطات، وتوفّر وقاية من خطر الإشعاع.

www.j4know.com

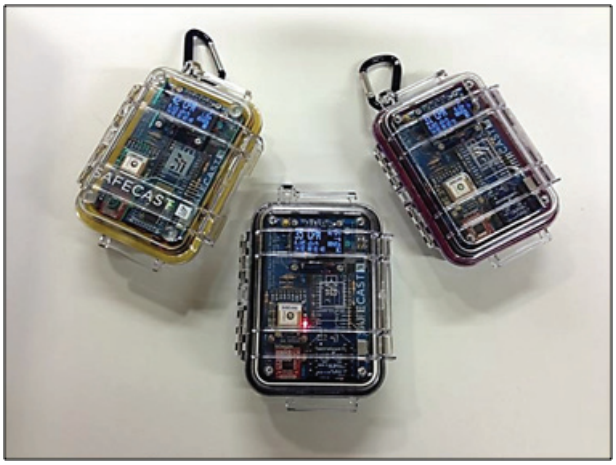


شكل ٣١ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم لرصد التلوث الإشعاعي) [١١٤]

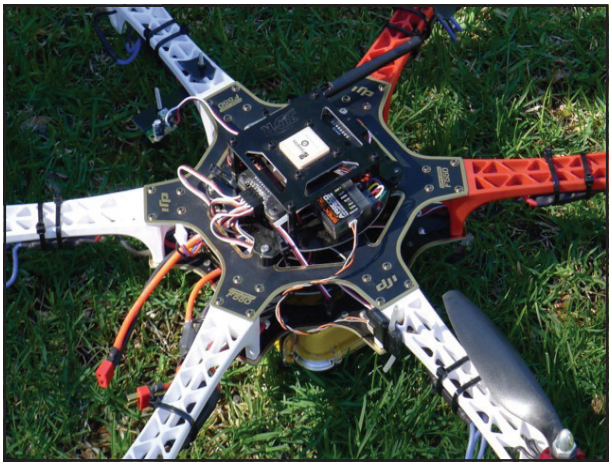
من أمثلة التطبيقات الفعلية في هذا المجال استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ للكشف عن نسبة الإشعاع في أماكن مختلفة في اليابان بعد كارثة مفاعل فوكوشيما النووي [١١٥]. وكانت اليابان قد تعرّضت لزلزال مدمّر أعقبه موجات مدّ تسونامي تسبّبت في أعطال جسيمة في وحدات التبريد في المفاعل، ما أدّى إلى تسرّب إشعاعيّ مرتفع في المنطقة المحيطة بالمفاعل.

وتمثّل شبكة Safecast مثالًا تطبيقيًا آخر على استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في مجال الإشعاع النووي، وهي شبكة استشعار تعمل على جمع قياسات الإشعاع في أماكن مختلفة من العالم؛ إذ تقوم مجموعة من المتطوعين باستخدام عُقَد حساسات لاسلكيّة لقياس نسب الإشعاع، ومن ثمّ إرسال هذه البيانات من خلال شبكة الإنترنت لمركز لجمع المعلومات، بحيث تصبح هذه البيانات متاحة من خلال موقع المجموعة [٩٧]. وقد استطاعت المجموعة استخدام طائرة بدون طيّار، مع تزويدها بوحدة حسّاسات لاسلكيّة؛ لقياس الإشعاع في الأماكن التي يصعب الوصول إليها. ويظهر (شكل ٣٣) صورة لوحدات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المستخدمة في الشبكة، في حين أنّ (شكل ٣٤) يمثّل صورة طائرة بدون طيّار تُستخدَم في المشروع نفسه.

www.j4know.com



شكل ٣٢ (عُقد حساسات لاسلكيّة لقياس نسبة الإشعاع) [٩٧]



شكل ٣٣ (طائرة بدون طيّار مزوَّدة بوحدة حسّاس لاسلكيّ لقياس نسبة الإشعاع) [٩٧]

٤.٢.٤ - حرائق الغابات

تنتشر حرائق الغابات في بعض البلدان خاصّة في فصل الجفاف؛ إذ يسهل انتشار النيران بين الأشجار، ولا تقتصر خسائر تلك الحرائق على الخسائر الماديّة، بل تُعدّ هذه الحرائق من أخطر الكوارث البيئية؛ إذ إنّها قد تستمر لعدّة أيّام، بل ربما لعدّة أشهر، ينبعث خلالها غاز أول أكسيد الكربون بصورة كثيفة، إضافة إلى تدمير مساحات خضراء كبيرة، وتعرّض كثير من الحيوانات البريّة لخطر الانقراض، وقد تشتعل الحرائق نتيجة عوامل طبيعية، أو بسبب عوامل بشريّة قد

www.j4know.com

تحوّل غابة خضراء مُزهِرة إلـى كومة من الرماد في غضون ساعـات، وللدّلالة على خطورة هذه الحرائق نجـد أنّ بلدًا مثل كندا يشتعل فيها ما يقرب من تسعـة آلاف حريق في الغابات المختلفة سنويًّا، وتفقد البلاد نسبة ستة بالألف من مساحة الغابات فيها سنويًّا بسبب تلك الحرائق، وتنفق كندا نحو ثلاثمِائة مليون دولار كنديّ؛ لمكافحة حرائق الغابات سنويًا. على الجانب الآخر من الكرة الأرضيّة نجد في واحدة فقط من الحرائق الكبيرة في غابات أستراليا في فبراير من عام ٢٠٠٩، ابتليت فيها البلاد بعشرات القتلى، ومئات المصابين، وآلاف المشرَّدين؛ بسبب هذا الحريق، الذي تسبّب في تدمير أكثر من ٤٥٠٠ كيلومترٍ مربعٍ من الغابات.

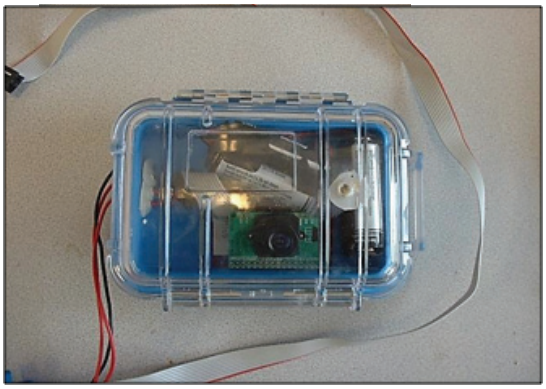
تَسْتَخْدَمُ العديدُ من الدول التي تعاني من انتشار حرائق الغابات تكنولوجيا الأقمار الصناعية لاكتشاف حرائق الغابات، لكنْ بسبب اتّساع مساحة الغابات وبُعْد المسافة تفتقد هذه التكنولوجيا الدقّة في سرعة اكتشاف الحرائق وتحديد أماكنها، وفي الآونـة الأخيرة انتشر استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في الكشف عن حرائق الغابات؛ إذ يتمّ نشر مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على مساحـة واسعة من الغابـة في أطرافها جميعها؛ لترصد عـدّة عوامل مختلفة في الغابات، منها: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وشدّة الرياح، ثم ترسلها بدورها للمحطات الرئيسة [٥٦]. ولا يقتصر دور عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة على اكتشاف الحرائق فحسب، بل يمتدّ دورها إلى اكتشاف أسباب الحريق قبل اندلاعه؛ لمنع نشوب الحريق من أساسه [٧٠]. كما أنّ لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة دورًا كبيرًا أثناء الحريق كذلك؛ إذ تقوم طائرات الإنقاذ وطائرات الدفاع المدني الخاصة بإطفاء الحرائق بإلقاء مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في مناطق الحريق؛ لتتعرّف إلى طبيعة الحريق وأماكن انتشاره؛ لتكون مكافحة الحريق أكثر دقة وفاعلية، وقد لوحظ أنّ تكلفة استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تقلّل كثيرًا من الخسائر التي تتعرّض لها الغابات، سواءٌ الخسائر المادية أم البيئية، غير الخسائر البشرية التي لا تُقَدَّر بثمن.

٥.٢.٤ - تحت مياه البحار والمحيطات

تمثّل شبكات الحسّاسات اللاسلكيّـة نقلة نوعيّة في التطبيقات التي يمكن تفعيلها تحت المياه؛ إذ تسمح بنقل المعلومات بصورة لاسلكيّة تحت مياه البحار والمحيطات؛ ما يتيح إنشاء نُظم مراقبة

www.j4know.com

متكاملة تحت المياه. هذا وتتنوّع تطبيقات شبـكات الحسّاسات اللاسلكيّة تحت المياه بين عمليات التنقيب عن النفط واستخراجه، ودراسات العوامل الجيولوجية في قاع المحيطات، وتربية الأحياء المائية (مثل مصائد الأسماك)، ومكافحة التلوّث، ومراقبة المناخ وتسجيله، وتوقّع الكوارث الطبيعيّة مثل الزلازل والموجات العاتية (تسونامي)، ودراسة الحياة البحرية (الأسماك، والثدييات، والكائنات البحرية الدقيقة)، ودراسة خصائص المياه مثـل: (درجة الحرارة، ونسبة الملوحة، ومستوى غاز الأوكسجين، ونسبة التلـوث بأنواعه المختلفة) [٦]. وتشمل أيضًا التطبيقـات العسكريّة والأمنيّة لتأمين الحدود البحريّة، ومراقبة السُّفن ومرافق الموانئ، وإزالة الألغام، والاتصال مع الغواصات والضفادع البشرية [٢٨]. وأخيرًا تستخدم في الدراسة والبحث العلمي. ويوضح (شكل ٣٤) صورة لعقدة حسّاسات لاسلكيّة تعمل تحت الماء، وتستخدم لمراقبة النظام البيئي في قاع الأنهار والبحار.



شكل ٣٤ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة تعمل تحت المياه) [١٠٠]

يمكن استخدام نُظُم شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المركّبات التي تعمل على سطح المياه أو تحتها، مثل: السفـن، والغواصات، وكذلك المركبات التي يتم توصيلها بالسفن أو الغواصات عن طريق الكابلات، وذلك بتثبيـت عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في تلـك المركبات. كما يمكن كذلك مراقبة أنظمة كابلات الاتصالات التي تمتدّ تحت المياه؛ إذ يمكن تثبيت الحسّاسات على تلك الكابلات؛ لتغطّيَ مساحة واسعة من الأميال البحرية. وتتنوّع أنواع الحسّاسات التي يمكن استخدامها لتشمل: الكاميرات، وأجهزة استشعـار الموجات البحرية، وأجهزة قياس الزلازل، وغيرها. ومن التطبيقات التي يمكن تنفيذها كذلك تتبّع أنواع الأسماك المختلفة من خلال تثبيت

www.j4know.com

عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة فيها، ومن ثـم عمل دراسات تفصيلية عن حركتها بُعدًا وقربًا من الشاطئ، وكذلك من سطح المياه [٤٢].

لكـي يتّسع نطاق التطبيقـات يجب أن تتغلّب تكنولوجيـا شبكات الحسّاسـات اللاسلكيّة على العديد من التحديات، ومن أهمّ تلك التحديات عملية الاتصال تحت المياه، التي سبق استعراضها بالتفصيل في الفصل الثاني.

٦.٢.٤ - الفضاء والطيران

في الآونة الأخـيرة ارتفع عدد الحسّاسات المستخدمة في الطائـرات والمركبات الفضائية بصورة كبيرة، ومع هذه الزيادة المطّردة أصبحت التوصيلات السّلكية للحساسات تمثّل عبئًا ثقيلًا على أنظمة الطائرات؛ وذلك من حيث تكلفة التركيب والصيانة، وكذلك من حيث وزن هذه التوصيلات، ومن ثمّ فقد أصبح استخدام الحسّاسات اللاسلكيّة أمرًا ضروريًّ. وقد أثبتت الاتّصالات اللاسلكيّة – بصورة عامة – كفاءة عالية في الكثير من تطبيقات الفضاء والطيران، ولكن يبقى الشاغل الرئيس هو جدوى استخدامها في الطائرات والمركّبات الفضائية، وذلك من حيث تأثيرها في أمن أنظمـة الملاحة فيها وسلامتها، وإمكانيّة تداخل الموجات المختلفة؛ بسبب كثرة أجهزة الحسّاسات اللاسلكيّة، وكذلك أمان البيانات المرسلة وسريّتها [٣٨].

هذا وتتركّز تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في مجال الفضاء والطيران على زيادة ضمانات السلامة، وتطوير الكفاءة، ورفع القدرة، وزيادة الملائمة البيئية للنقل الجوي. ومن أمثلة هذه التطبيقـات: استخدام الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لمراقبـة أداء محركات الطائرات، وصناديق التروس، ومتانة الهيكل، وكفاءة المعدّات المختلفة [٨٧]. كما يمكن استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّـة في نُظُم جمع بيانات الأرصاد الجوية؛ بحيـث تثبَّت داخل الطائرات وخارجها لِجَمْعِ بيانات الطقس، التي لا تقتصر الاستفادة منها على ضمان سلامة الطائرة من قبل طاقم الطيران، بل تمتدّ لتشمل معرفة توقّعات الطقس، وإمداد هيئات الأرصاد الجوية بها.

٣.٤ - تطبيقات داخل المباني

نجحت التكنولوجيا الحديثة في تقديم العديد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي يمكن

www.j4know.com

أن تُستخدَم في قياس كثير من العوامل في المباني، منها: قياس درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، والتعرّف إلى وضع الأبواب والنوافذ فتحًا وإغلاقًا، وشـدّة الإضاءة، وغيرها. وسَمَحت مثل هذه التقنيات المتاحة بعمل العديد من التطبيقات داخل المباني المختلفة، ومن هذه التطبيقات التحكم في أجهزة تكييف الهواء؛ للتوفير في استخدام الطاقة، عوضًا عن ترك أجهزة التبريد أو التسخين تعمل لأوقات طويلة دون الحاجة إليها، وقد أثبتت الدراسات التطبيقيّة في الولايات المتحدة الأمريكية أنّ خفض ١٪ من الاستهـلاك في أوقات الذروة يؤدّي إلى خفض ١٠٪ من التكلفة، في حين يؤدي تقليل الاستهلاك بنسبة ٥٪ إلى خفض التكلفة إلى النصف، وهو ما يمثّل خفضًا كبيرًا للتّكلفة على صاحب المكان، فضلاً عن المحافظة على الدخل القومي للبلاد.

ومن التطبيقات المستخدمة أيضًا في المباني وضع نظام أمان للتعرّف إلى الأبواب والنوافذ المفتوحة (شكل ٣٥ تظهر فيه لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم لهذا الغرض التي لا يقتصر دورها على إبلاغ صاحب المنزل أو الحارس بحالة الأبواب والنوافذ فحسب، بل يمتدّ لإبلاغه وإبلاغ الشرطة بـأيّ محاولة اقتحام للمنزل عن طريق الإنترنـت أو بإرسال رسالة قصيرة للهاتف الجوّال، وكذلك وضع نظام لاكتشاف الحريق، وتحديد مكانه، مع وضع إشارات ضوئية تشير لأماكن الخروج الآمنة، خاصّة في المباني الكبيرة، وأيضًا الإبلاغ الآليّ للدّفاع المدني في حدوث حريق.

شكل ٣٥ (لوحة عقدة لاسلكيّة لاكتشاف الحركة) [١١٤]

نشير هنا إلى إحدى الدراسات الفعليّة في هذا المجال، وهي دراسة بحثيّة تطبيقيّة لإنشاء

www.j4know.com

شبكات حسّاسات لاسلكيّة في كلّ من المسجد الحرام والمسجد النبويّ. تشير هذه الدراسة إلى قياس مجموعة من العوامل الطبيعيّة في كلا المسجدين، ومنها: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وشدّة الإضاءة، وشدّة الصوت، وكمّيّة المطر على سطح المسجد من خلال تكوين شبكات حسّاسات لاسلكيّة كبيرة [٦٣]. ومن أهمّ مميّزات هذه الدراسة التطبيقية تغلّبها على صعوبة تنفيذ الشبكة باستخدام الحسّاسات السلكية التقليدية؛ إذ يصعب مدّ الكابلات داخل المسجدين لوجود الآلاف من المصلين في المسجدين يوميًا مع ارتفاع التكلفة وبذل الكثير من الوقت والجهد، بالإضافة إلى صعوبة تغيير أماكن الحسّاسات السلكية، في حين يكون تغيير أماكن الحسّاسات اللاسلكيّة أمرًا سهلاً بصورة كبرى، وإلى حدّ ما بلا تكلفة، وقد أحصت هذه الدراسة العديد من الفوائد المتوقعة من استخدام شبكات حساسات لاسلكيّة في الحرمين الشريفين، ومن تلك الفوائد: زيادة كفاءة عملية إدارة المصادر المختلفة في الحرمين عن طريق خفض استهلاك الطاقة بإغلاق مصابيح الإضاءة، ومراوح التهوية، وأجهزة تكييف الهواء، وذلك عند عدم الحاجة إليها. وكذلك التحكّم في المظلات الموجودة داخلَ المسجد النبوي وخارجَه تبعًا لشدّة ضوء الشمس وشدّة الأمطار [٦٤]. والنوع الثاني من الفوائد يختصّ بإدارة الحشود وتوجيهها، ومنها تحديد أماكن الازدحام، ومن ثم توجيه المصلين إلى الأماكن الأقل ازدحامًا، ووضع علامات خروج آمن في حالة الطوارئ، بالإضافة إلى عمل تحليلات إحصائيّة دقيقة عن تدفّق الحشود، وأماكن الازدحام في الحرمين وأوقاته، ومعدّل الخروج والدخول مِنْ كلّ باب من أبواب الحرمَيْن الشريفَيْن، ومن الفوائد المَرْجُوَّة أيضًا: وضع نظام آمن لاكتشاف الحرائق، وكذلك وضع نظام لمتابعة شدّة الصوت للنظام الصوتي في كلّ من الحرمين؛ لضمان جودة التوزيع في جوانب المبنى، وأخيرًا وضع نظام لمراقبة كفاءة حالة المبنى الإنشائية، التي سيتم شرحها بالتفصيل في النقطة الآتية الخاصّة باستخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في التطبيقات الإنشائية. بعرض هذه الدراسة الخاصة بإنشاء شبكات حساسات لاسلكيّة في كلّ من المسجد الحرام والمسجد النبوي يتّضح لنا تعدّد الاستفادة من تطبيقات هذا النوع من الشبكات وتوسّعها، خاصّة في إدارة المباني والمنشآت الكبيرة. ويظهر

www.j4know.com

في (شكل ٣٦) لوحة كاميرا لاسلكيّة تستخدم في أعمال المراقبة.

شكل ٣٦ (لوحة كاميرا لاسلكيّة) [١١٤]

٤.٤ - التطبيقات الإنشائيّة

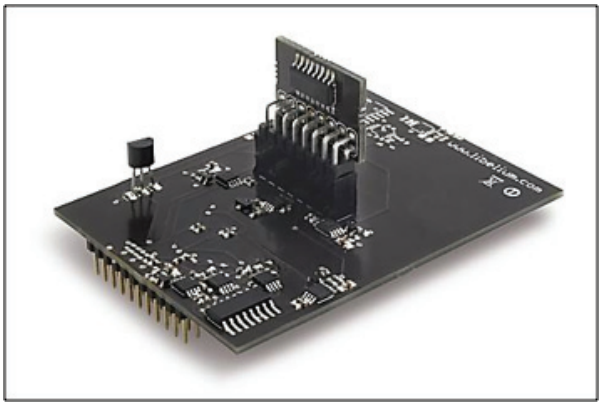
قد تعاني المنشآت الهندسية المختلفة من بعض الأضرار الناشئة؛ بسبب تقادم المبنى أو بعد تعرّضها للزلازل أو الهزات الأرضية. وتكمن مشكلة هذه الأضرار في أنّها قد تكون خفيّة لا تظهر للعين المجرّدة، بل وفي بعض الأحيان لا تظهر بالوسائل الهندسية التقليدية، وينطبق هذا أيضًا على الجسور، والأنفاق، وطرق السّيّارات عامّة، والسريعة منها خاصّة. يمكن باستخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة وضعُ عُقَد حسّاسات لاسلكيّة صغيرة الحجم داخل هيكل المبنى، سواءٌ في الأعمدة الخراسانية أم كُتَل الإسمنت أو غيرها، ما يتيح التعرّف إلى أيّ خلل يصيب بنية المنشآت، والكشف عن أيّ ضرر يلحق بالبناء خاصّة بعد الزلازل والهزّات الأرضية، ويتيح وضع العقد بهذه الصورة الفحص الدوري لحالة المنشآت، ومعرفة حالة المبنى بدقّة، التي لا تقتصر على معرفة حالة الشكل الخارجي من شقوق ظاهرة وغيرها، بل يتخطّى هذا إلى رسم صورة أكثر دقةً وعمقًا؛ لمعرفة مدى الأضرار الخفيّة في هيكل المنشآت، وسرعة العمل على إصلاح هذه الأضرار قبل حدوث انهيار في المبنى أو في جزء منه بصورة مفاجئة.

٥.٤ - تطبيقات المدن الذكيّة

تعتمد المدن المتطوّرة – أو ما يُطْلَق عليها المدن الذكيّة – بصورة كبيرة على تكنولوجيا المعلومات والاتّصالات؛ لتوفير بيئة أكثر راحة وأمانًا للإنسان، ولا يقتصر دور المدن الذكية

www.j4know.com

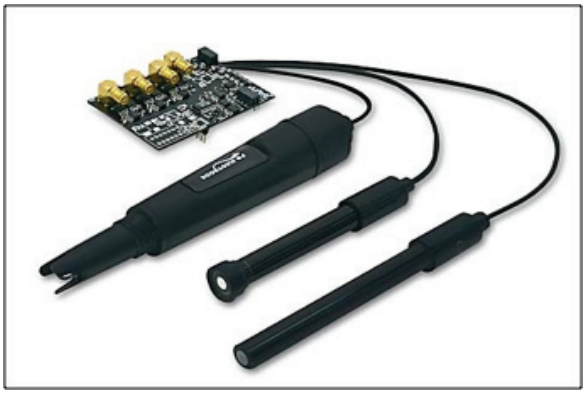
على توفير الراحة، بل يتعدّى ذلك للعمل على رفع مستوى الاقتصاد في تلك المدن من خلال استغلال المصادر المختلفة بالصورة المثلى. وتشمل تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المدن الذكيّة على كثير من التطبيقات التي سبق ذكرها، كرصد البيئة وتلوث الهواء، والتطبيقات داخل المباني، والتطبيقات الإنشائية، بالإضافة إلى تطبيقات أخرى ذات فائدة خاصة بالمدن الذكية، كالتّعرّف إلى الأماكن الشاغرة في مواقف انتظار السيارات. يوضّح (شكل ٣٧) لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم في هذا التطبيق؛ ما يعمل على توفير الكثير من وقت السائقين في البحث عن أماكن الانتظار.



شكل ٣٧ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم لرصد حالة أماكن انتظار السيارات) [١١٤]

من التطبيقات المفيدة أيضًا التي يمكن تنفيذها باستخدام العُقدة الموضّحة في (شكل ٣٨) معرفة نسبة الضوضاء في شوارع المدينة المختلفة على مدار اليوم باستخدام ميكروفون يقيس هذه النسبة. كما تشمل لوحة الحسّاسات اللاسلكيّة المشار إليها عدّةَ وظائفَ أخرى تمكّنها من المشاركة في العديد من التطبيقات، منها اكتشاف التصدّع في الكُتَل الخرسانيّة، ومدى انتشاره، ومنها كذلك كشف مستوى الغبار والجسيمات الدقيقة في الهواء؛ لمعرفة مدى تلوّث الجو، ومن التطبيقات المستخدمة في المدن الذكيّة أيضًا، معرفة مدى ارتفاع النفايات في الصناديق المخصّصة لها، وهو ما يسمح بتحديد مسار سيّارة جمع النفايات، بحيث يتمّ توفير كثير من الوقت، والجهد، والمال، بل ويساعد كذلك على تقليل ازدحام المرور.

www.j4know.com

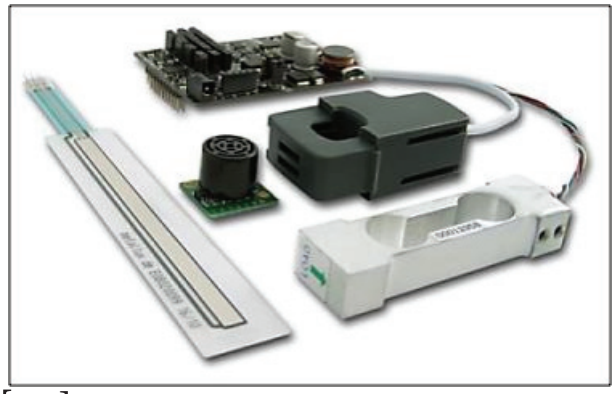


شكل ٣٨ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم في تطبيقات المدن الذكية) [١١٤]

تمتـدّ تطبيقات شبكات الحسّاسـات اللاسلكيّة المتاحـة للمدن الذكيّة لتشمـل ما يُسَمَّى القياسات الذكية؛ إذ يوجد بعض عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة تُستخدَم في قياس كمّيّة الطاقة المستهلكة بُكِلّ بناية أو كلّ وحدة سكنية [٦٧]، كما يمكنها قياس كميّة المياه المستهلكة (شكل ٣٩). ويساعد ذلك على التعرّف بصورة دورية إلى الكمّيّة المستهلَكة ومن ثمّ التكلفة الإجمالية، وهو ما يسمح للمستخدم بترشيد الاستهلاك خاصّة في أوقات الذروة من أجل تقليل التكلفة، ومن أجل خفض الضغـط على الشبكة؛ ما يساعـد على توفير الطاقـة في المدينة، ويوفّر في الاقتصاد القومي للبلاد[١٢]، ويمكن كذلك لهذا النوع من العُقَد الكشف عن تسرّب المياه داخل الجدران، أو في باطن الأرض؛ ما يتيح معرفة الأنابيب المعطوبة وإصلاحها، وهو أمر حَيَوِيّ؛ لأنه عادة ما تفقد شبكات المياه العامة الكثير من المياه جرّاء التشقّقات التي تحدث في أنابيب المياه بسبب الصدأ، مسببة تلوث المياه وفقد كمية كبيرة منها. ويحتاج هذا الأمر في كثير من الأحيان إلى سنوات طويلة؛ حتّى يتمّ اكتشافه.

١٢- كما سبق الإشارة إليه في الجزء الخاص بتطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة داخل المباني

www.j4know.com



شكل ٣٩ (لوحة عقدة لاسلكيّة للقياسات الذكية) [١١٤]

تمتدّ تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المدن الذكية لتشمل الكشف عن جودة مياه الشرب، كما توجد عُقَد حساسات لاسلكيّة تتعرّف إلى وجوه الأشخاص؛ للسماح لهم بالدخول في المنازل والأماكن الخاصة على وفق تعريف مسبق. وتمّ كذلك إضافة عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في بعض السيارات الحديثة؛ لترصُد العديد من العوامل تراقبها داخل السيارة وخارجها، وهناك بعض الدراسات الحاليّة لاستخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة بالسيارات؛ لتتواصل فيما بينها، وكذلك مع شبكة الطرق العامة؛ لتفادي حوادث السيارات، والاكتشاف المبكر لهذه الحوادث حال وقوعها مع سرعة إبلاغ الإسعاف والشرطة للتوجّه إلى مكان الحادث، وأيضًا للتعرف إلى الطرق المزدحمة وتوجيه السيارات للطرق الأقل ازدحامًا. ولا تزال العديد من التطبيقات الأخرى قيد الدراسة والبحث لتجعل حياة الإنسان أكثر سهولة وأمنًا ورفاهيَة.

مِنْ أشهر تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في مجال المدن الذكيّة قيامُ مجموعة من الشركات والهيئات والجامعات بالمشاركة في مشروع لتطوير مدينة سانتاندير الإسبانية، أُطْلِقَ عليه مشروع سانتاندير الذكيّة (Smart Santander) [١٢٩]؛ إذ تمّ نشر ما يزيد عن ألف عقدة حساسات لاسلكيّة في أنحاء المدينة، واستخدامها في قياس: درجة الحرارة، ومستوى الضجيج، وشدّة الإضاءة، ونسبة غاز أوّل أكسيد الكربون، وكذلك تحديد مواقف السيارات الشاغرة. كما تمّ وضع العديد من اللوحات الإلكترونيّة التي تهدف إلى تقديم معلومات مفيدة

www.j4know.com

للمواطنين، من خلال القياسات المختلفة التي تقوم بها الحسّاسات. يظهر (شكل ٤٠) و(شكل ٤١) صورًا مختلفة للمشروع.

يهدف المشـروع في مراحله القادمة إلى نشر ما يزيد علـى عشرين ألف عُقدة حساسات لاسلكيّة في عدد من المـدن الأوروبية، وفي هذا الإطار بدأ بالفعل مشروع مشابه لقياس نسبة التلوث في الجوّ في عدة مدن في صربيا.

شكل ٤٠ (عقدة لاسلكيّة معلّقة على أحد أعمدة الإنارة في مدينة سانتاندير) [١٢٩]

شكل ٤١ (لوحة توضّح عددَ الأماكن الشاغرة لانتظار السيارات (يمين)،عقدة حسّاسات لاسلكيّة مثبّتة في الأرض تستخدَم لتحديد الأماكن الشاغرة في مواقف السيارات (يسار)) [١٢٩]

www.j4know.com

٦.٤ - التطبيقات الصناعيّة

يهتم مجال الصّناعة بصورة كبرى بالتحكّم في النفايات الناتجة من عملية التصنيع. سواءٌ أكانت تلك النفايات في صورة صلبة، أم سائلة، أم غازيّة. وتلاقي هذه النفايات وطريقة التخلص منها اهتمامًا بالغًا من مجال البيئة كذلك كما سبق وأشرنا في التطبيقات الخاصة بالبيئة المحيطة، لهذا فإنّ استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في قطاع الصناعة للكشف عن حالة النفايات وقياس نسب الغازات المختلفة فيها من الأهمية بمكان، ولا يقتصر دور شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة على مراقبة النفايات فحسب، بل يمتدّ كذلك ليشمل التحكّم في عملية تصنيع المُنْتَج نفسه، ومن ثمّ تلعب هذه الشبكات دورًا كبيرًا في تحديد كفاءة المنتج وجودته، ومن ذلك إرسال إشارات تحذيرية عند تخطّي بعض القياسات، كدرجة الحرارة، أو نسبة الرطوبة، أو شدّة الإضاءة، أو غيرها، لقيمة محدّدة تؤثر على جودة المنتج. يمكن لعقد الحسّاسات اللاسلكيّة مراقبةُ بعض العوامل، كوجود العنصر البشري في أماكنَ خطرةٍ؛ لتقوم بوقف العمل فورًا؛ لمنع وقوع إصابات جسيمة للبشر، والأمثلة في مجال الصناعة يصعب حصرها، فمنها ما هو مرتبط بتفقّد حالة الآلات من حيث التوقّف أو التشغيل، ومنها ما يرتبط بتحديد وجود عنصر في مكانه من عدمه، أو تحديد معدّل تدفق سائل معيّن، أو تحديد كمّيّة السائل الموجودة أو ارتفاعه داخل إناء محدد، أو التأكّد من تشغيل الآلات في ظروف التشغيل المناسبة. كما يمكن الاستفادة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في تحديد كفاءة أجزاء الآلات الصناعية المختلفة للعمل على الصيانة المستمرة لتلك الآلات بتكلفة أقلَّ وجودة عليا.

٧.٤ - تطبيقات النّفط والغاز

تعدّ صناعة استخراج النفط والغاز مِنْ أهمّ الصناعات وأغناها على مستوى العالم؛ ويعود ذلك لما تدرّه من دخل ضخم، ولما توفّره من فرص عمل عديدة، وفي المقابل فإنّ هذه الصناعة – خاصّة عمليّتا التنقيب والاستخراج – يواجهها كثير من الصعوبات والتحدّيات، بل والمخاطر كذلك؛ لما يحيط هذه العمليّة من ظروف عمل صعبة، عادة ما تكون في وسط الصحراء أو في البحار والمحيطات. كما أنّ عمليّتَي التنقيب عن النفط واستخراجه تتمّان بعيدًا

www.j4know.com

عن عين الإنسان وتحكّمه المباشر، سواءٌ أكانت العملية في باطن الأرض أم في أعماق المياه.

هذا ويمكن لشبكات الحسّاسات اللاسلكيّة أن تقدّم العديد من التطبيقات في مجال استخراج النفط والغاز، ومن ذلك استخدام الحسّاسات اللاسلكيّة بوضعها في أعماق آبار النفط والغاز وعلى مستويات مختلفة وحتّى السطح، بحيث تنقل صورة كاملة حيّة ومباشرة عن حالة البئر، ومن تلك الحسّاسات التي يمكن استخدامها: حسّاساتُ الكشف عن وجود النفط والغاز، وقياس درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، والضّغط، وشدّة التدفّق، ومستوى سطح السائل، والتحليل الكيميائي للنفط والغاز والمياه والتربة داخل البئر، والإجهاد الميكانيكي، والاهتزازات، والكشف عن الغازات المختلفة، والكشف عن الحريق، والكشف عن وجود المُعدِّات داخل البئر وخارجه أو فقدانها. كما يمكن استخدام الحسّاسات للكشف عن عمليّات التآكل في خطوط أنابيب النفط، التي تمتدّ أحيانا لمئات وربّما لآلاف الكيلومترات، كما يمكن استخدامها للكشف عن حالات تسرّب النفط أو الغاز [٧٢].

ومع أنّ مجال النفط يستخدم الحسّاسات التقليدية بصورة واسعة، إلّا أنّ شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة تقدّم أبعادًا جديدة لهذه الاستخدامات؛ إذ توفّر شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة سرعة نشر أو إزالة الحسّاسات من أماكنها دون الحاجة لمدّ الكابلات وتوصيلها؛ ممّا يساعد على زيادة عدد الحسّاسات في الشبكة أو تقليلها بسهولة ويُسْرٍ. كما أنّ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يمكن توصيلها لاسلكيًّا بأجهزة الحاسوب بسهولة فائقة؛ ما يتيح الفرصة لتخزين كمّ هائل من البيانات بصورة إلكترونيّة، ومن ثمّ الاستفادة منها في الحال، وكذا الرجوع إليها في المستقبل. يمكن كذلك نقل البيانات من خلال الشبكة المحلية أو شبكة الإنترنت لأماكن بعيدة، وهو ما يمثّل صورة من صور المراقبة من بعد، وأخيرًا فإنّ استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة يساعد على توفير الطاقة، وخفض تكاليف الصيانة، وتحسين الأداء، وتعزيز السّلامة.

يظهر في (شكل ٤٢) صورة لحسّاس لاسلكيّ يستخدم في مجال النفط؛ إذ يتمّ تركيب الحساس بأحد الصمّامات، ومن ثمّ يستطيع الحسّاس أن ينقل معلومات متعدّدة عن حالة

www.j4know.com

الصمام بصورة لاسلكيّـة، فيحدّد كون الصمام مغلقًا، أو مفتوحًـا، أو مغلقًا بصورة جزئيّة ونسبة إغلاقه في هذه الحالة. كذلك يمكنه نقل معلومات عن درجة الحرارة، وحالة بطاريّة تشغيل الحسّاس.

شكل ٤٢ (حسّاس لاسلكيّ يستخدم في قطاع النّفط) [١٠٧]

٨.٤ - تطبيقات الإمدادات اللوجستيّة

تتعرّض المنتجات لتغـيّر العوامل المحيطة بها أثناء النقل والتخزيـن. قد يؤدي تغيّر هذه العوامل للإضرار بالمنتج بصورة جزئيّة وفي بعض الأحيان بصورة كلّية؛ بحيث يصبح المنتج غير صالـح للاستخدام. ومن هذه العوامـل درجة الحرارة ونسبـة الرطوبة وغيرها. يمكن الاستفـادة من شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في هذا المجـال عن طريق تثبيت مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بالمنتج المطلوب مراقبته؛ لتسجيل القياسات المهمّة التي قد تؤثر في كفاءة المنتج، وذلك أثناء عمليات النقل والتخزين والعرض كذلك. كما يمكن تطوير عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة بإضافة مؤشر زمني ووحدة لتحديد المواقع الجغرافية؛ لمعرفة المكان والزمان التي تَعَرّض فيه المنتج للعوامل الضّارّة أو المُؤثّرة، ليس ذلك فحسب، بل يمكن أيضًا مراقبة مكان المنتَج ومتابعته بصورة دوريّة مستمرّة، ومعرفة الظروف التي تعرّض أو يتعرّض لها. كما يمكن معرفة ما إذا كانـت حاوية المنتَج قد تعرّضت للفتـح أو الإتلاف، أو تعرضّت المنتجات المثلّجة للذّوبان، أو تعرّض الطـلاء لدرجة رطوبة مرتفعة، وهكذا. كما يمكن أيضًا أن تحتفظ عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المثبتة بحاوية المنتج بمعلومات عن طبيعة المنتج تفيد

www.j4know.com

القائمين على عملية النقل، كمعرفة إذا ما كان المنتَج قابلًا للاشتعال ونحو ذلك؛ ما يقودنا إلى منتجات ناطقة تعبر عن نوعها، ووصفها، وعن الظروف التي مرّت بها من خلال عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المثبتة بها.

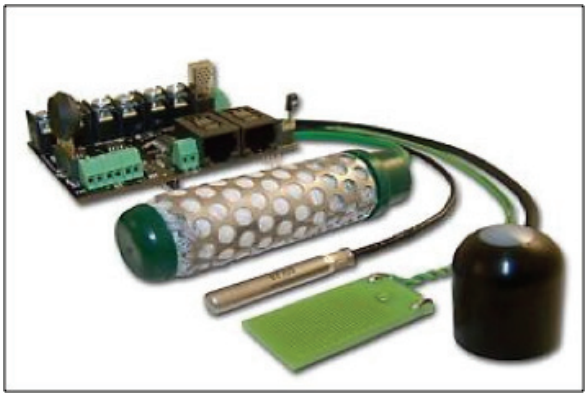
٩.٤ - التطبيقات الزراعيّة

كان الهدف من استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في مجال الزراعة هو رصد نموّ النباتات بالمقارنة بالظروف المناخيّة التي تتعرّض لها؛ إذ يمكن قياس كلٍّ من: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة في الجو، وكذلك درجة حرارة رطوبة تربة الأرض وحرارتها، ثمّ دراسة تطوّر نموّ النبات وفق تلك العوامل التي تعرّض لها؛ من أجل الوصول إلى أفضل نتائج زراعية ممكنة.

ثمّ بعد ذلك تطوّرت تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المجال الزراعي؛ لتشمل الإنذار المبكر للظروف البيئية التي قد تضرّ بالنباتات، في محاولة للتغلّب على هذه الظروف، ومنها مثلًا: خطر التعرّض للصقيع الذي قد يودي بحياة النبات، وكذلك الكشف عن النباتات المريضة عن طريق بعض الظواهر التي يمكن لعقد الحسّاسات اللاسلكيّة أن تقيسها؛ ومن ثمّ علاج هذه النباتات أو التخلّص منها في حالة إخفاق العلاج؛ حتّى لا تؤثّر على النباتات المحيطة. كما يمكن التحكّم في عملية الرّيّ آليًّا وفق درجة رطوبة التربة التي يمكن أن تسجّلها عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة كما سبق توضيحه. وقد ظهرت أيضًا أهمية هذه التطبيقات في مرحلة دور الحضانة للنباتات، التي يحتاج فيها النبات إلى رعاية ومتابعة فائقة، وكذلك في المحاصيل الحسّاسة التي تحتاج إلى مراقبة من كثب، كالعنب والفواكه الاستوائية التي يتأثر فيها المحصول بشدة تبعًا لأيّ تغيير في العوامل المحيطة، خاصّة درجة الحرارة [٧٤].

ويمكن أيضًا الاستفادة من شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المناطق الشاسعة التي يصعب متابعتُها لاتّساع المساحة، أو المناطق البعيدة التي يصعب الوصول إليها مثل المناطق الجبلية أو المناطق التي ينمو فيها الفطر. أخيرًا يمكن حفظ كمّ كبير من البيانات المسجّلة عن حالة الأرض وحجم المحصول وجودته على مدار السنين وتخزينها؛ للاستفادة من هذه المعلومات في الدورات الزراعية التالية.

www.j4know.com



شكل ٤٣ (لوحة عقدة لاسلكيّة مع مجموعة من الحسّاسات تُستخدَم في التطبيقات الزراعيّة) [١١٤]

وقد تطوّرت عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الخاصّة بتطبيقات الزراعة بصورة كبيرة خلال الآونة الأخيرة (شكل ٤٣ يوضّح صورة لواحدة من لوحات عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الحديثة التي يتـمّ استخدامها في مجال الزراعة، ولم تعد تقتصر على الـدور التقليدي لقياس درجة الحرارة ونسبة الرطوبة في الجوّ، وكذلك درجة حرارة التربة ونسبة الرطوبة فيها، بل تعدّت ذلك إلى رصد عواملَ كثيرة تهمّ المجال الزراعي ورصدها، منها: درجة حرارة سطح النبات، ونسبة النّدى الموجود على سطحه، وقطر الثمرة، وقطر جذع النبات، والضغط الجوي، وشدّة الأشعّة الشّمسيّة، والأشعّة فوق البنفسجيّة، وشدّة الرياح، ومعدّل هطول الأمطار.

وقد قامت إحدى الشركات الإسبانيّة المتخصّصة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة بإنشاء نظام «سيجـا» (Siega System) وتنفيذه [١٢٨]. وهو نظام يقـوم على استخدام شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في مجـال الزراعة، وتمّ استخدامه للمـرة الأولى في مزارع العنب في مدينة بونتيفيدرا، إحدى مدن الشمال الإسباني.

استخدم المشروع العديد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ لقياس ظواهر طبيعيّة متعددة منها: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، ودرجة حرارة التربة، ونسبة رطوبة التربة، والضغط الجوّيّ، وشدّة الأمطار، وشدّة الرياح، وشـدة أشعة الشمس، وشدّة الأشعّة فوق البنفسجية، ونسبة النّدى على أوراق العنب. يظهر (شكل ٤٤) صورة لواحدة من مزارع العنب التي استُخدم

www.j4know.com

فيها النظام المشار إليه.

يقصد نظام «سيجا» لمراقبة مراحل الزراعة المختلفة في مزارع العنب؛ للتحكّم في كمّيّة مياه الري، وكمّيّة الأسمدة المستخدمة، ومراقبة نموّ الثمار. كما يقصد النظام كذلك إلى القيام بالتوقّع المبكّر لظهور الأوبئة داخل مزارع العنب، وهو ما يسمح بالتدخّل السريع لمعالجة الأوبئة المختلفة، واستبعاد الثمار التالفة قبل التأثير في بقيّة المحصول.

وقد امتدّ المشروع؛ ليشمل تتبّع نقل محصول العنب من المزارع إلى أماكن البيع المختلفة، من خلال تزويد حاويات نقل المحصول بشرائح التعرّف بواسطة موجات الراديو الموصّلة بعقد الحسّاسات اللاسلكيّة، التي تسمح بدورها بتسجيل الظروف المناخية المختلفة التي يتعرّض لها المحصول خلال نقله إلى أماكن البيع المختلفة.

شكل ٤٤ (استخدام الحسّاسات اللاسلكيّة في مزارع العنب في مدينة بونتيفيدرا الإسبانيّة) [١٢٨]

www.j4know.com

١٠.٤ - التطبيقات الصحيّة

تعدّ الرعايــة الصّحيّة للمواطنين من أولى اهتمامات الحكومــات في دول العالم المتقدم؛ ولذلك كان للتطبيقــات المتعلّقة بصحة الإنسان ورعايته نصيبٌ كبــيرٌ من تطبيقات شبكات الحسّاســات اللاسلكيّة، ومن المتوقّــع أن تستحوذ شبكات الحسّاســات اللاسلكيّة في المجال الصحي على نسبة كبيرة من بين التجهيزات والأدوات المستخدمة في عالم الطب والصحة في المستقبل القريب، وقد تنوّعت تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المجال الصحي بين تقديم اهتمام مباشر بحالة الإنسان الصحيّة ومتابعتها، وأخرى تقوم بتلك الرعاية بصورة غير مباشرة، عن طريق تقديم بعض المساعدات والتسهيلات للأطبّاء والممرِّضين في عملهم من أجل رعاية مرضاهم [٤].

١.١٠.٤ - شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة

نظرًا للحاجة الماسة إلــى رصد حالة جسم الإنسان ومتابعتها بصــورة دقيقة ومستمرّة، سواء في المستشفى أثنــاء تلقّي العلاج أم في مرحلة الاستشفاء بعــد الخروج من المستشفى؛ فإنّ شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة تعدّ من أشهر تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في المجال الصحي [٥٧]. تقوم فكرة شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة على القيام بعمل أجهــزة القياس الطبيّة، لكنْ في صورة أجهــزة لاسلكيّة؛ ما يسمح للطبيب بتركيب هــذه الأجهزة من جسم المريض أو نزعها بسرعة وسهولة، وقــد تمّ تصنيع العديد من أجهزة قياس ومتابعة الوظائــف المهمّة والأجهزة الحيويّة في جســم الإنسان باستخدام عُقَد حسّاسات لاسلكيّــة [٢٤]. ومن وظائف عُقَد حساسات جســم الإنسان اللاسلكيّة التي تمّ تصنيعها بالفعــل وأصبحت متاحة ومستخدمة في المجالات الصحيــة: وقياس الاستجابة الجلديــة الجلفانيــة (Galvanic Skin Response) أو (GSR) رســم القلب الكهربائي (Electrocardiography) أو (شــكل ٤٥) (ECG) (شــكل ٤٦)، ورسم المخ الكهربائي (Electroencephalography) واختصاراً (EEG)، ورسم العضلات أو ما يُسَمَّى جهازَ التخطيط الكهربائي للعضلات (Electromyography) أو (EMG) (شكل ٤٧)، ومعدل

www.j4know.com

نبضات القلب، ونسبة الأوكسجين في الدم (شـكل ٤٧)، وقياس ضغط الدم، وتسرّب الهواء من الرئتين، ونسبة السكّر في الدم، ودرجة حرارة الجسم، وغيرها.

شكل ٤٥ (حساس لاسلكي لقياس الاستجابة الجلدية الجلفانية) [١٣٥]

شكل ٤٦ (عقدة لاسلكيّة تقوم بعمل جهاز التخطيط الكهربائي للعضلات) [١٢٥]

شكل ٤٧ (حساس لاسلكي لقياس نبض القلب ونسبة الأوكسجين في الدم) [١٠٤]

استطاعت هذه المجموعة من عُقَد حسّاسات جسم الإنسان أن تحرز تقدمًا طيبًا في مجال الطب البشري، ولا يزال أمامها الكثير لِتُقَدِّمَه في هذا المجال من خلال التوسّع في استخدامها

www.j4know.com

وتطوير أدائها، ومن التطبيقات الفعلية لهذا النوع من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة استخدامها لمراقبة حالة المرضى في المستشفيات بصورة عامّة، وفي وحدات العناية المركزيّة ووحدات العناية الفائقة بصورة خاصّة؛ إذ تستطيع هذه العُقَد أن توفّر صورة متكاملة ودقيقة وسريعة عن حالة جسم المريض من خلال القياسات التي توفّرها هذه العقد اللاسلكيّة. كما يمكن أن يتمّ إعلام الطبيب أو الممرّض بأيّ خطورة في حالة المريض الصّحيّة تستدعي التدخل؛ ما يساعد على توفير رعاية طبية دقيقة للمريض خاصّة في الحالات التي يساوي فيها جزء من الثانية حياة إنسان.

كما أسهم عمل هذه الأجهزة الحديثة بصورة لاسلكيّة في حرية حركة المريض؛ بحيث يستطيع أن يتنقّل من مكان لآخر بسهولة ويُسْرٍ، وتُشكّل هذه الخاصيّة أهمية كبيرة للمرضى من ناحيتين. أمّا الناحية الأولى فهي الناحية الطبيّة؛ إذ تسمح حريّة الحركة بسرعة نقل المريض من مكان لآخر في حالة حدوث حالة طارئة تستدعي نقله لمكان آخر مثل غرفة العمليات. أمّا الناحية الأخرى فهي الناحية النفسيّة للمريض؛ إذ توفّر له حرية الحركة حالة من الاستقرار النفسي تساعده على الشفاء سريعًا، بل تسمح للمريض بالخروج من المستشفى والعودة إلى البيت في بعض الحالات الصحيّة التي لا تحتاج إلى رعاية داخل المستشفى، بل تحتاج فقط إلى مراقبة الحالة الصحيّة من خلال تلك الأجهزة الطبية، وخروج المريض من المستشفى لا يساعده فقط على سرعة الاستشفاء، بل يوفّر كثيرًا من الأعباء الماليّة التي قد يتحملّها المريض أو تتحمّلها الدولة، بالإضافة إلى إخلاء المكان لمريض آخر قد يكون أكثر حاجةً إليه. كما ساعدت هذه الأجهزة في توفير متابعة دقيقة للحالات الصحيّة التي تحتاج إلى المراقبة بعد الخروج من المستشفى، ومن المتوقَّع أن يساهم استخدام شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة في خفض نسبة كبيرة من تكاليف الرعاية الصحية؛ بسبب الاكتفاء بمتابعة حالات كثير من المرضى عبر تلك الأجهزة في منازلهم بدلًا من الاضطرار لحضورهم بالمصحّات والمستشفيات المختلفة دون حاجة حقيقية لذلك.

كما أسهم انتشار استخدام هذه الأجهزة وانخفاض تكلفتها في إمكانية توفيرها لعدد كبير

www.j4know.com

من المرضى، وهذا بدوره قد ساعد في متابعة حالة المريض بصورة دقيقة لأوقات زمنيّة طويلة؛ ممّا يساعد الطبيب على تشخيص حالة المريض بصورة أفضل وأكثر دقّة، ويسمح له باتّخاذ القرارات الصحيحة في الأوقات المناسبة على وفق حالة المريض الصحية.

كما استطاعت عُقَد حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة أن تَحلّ محلّ أجهزة القياس الطبية التقليدية، وفتحت شبكات حسّاسات جسم الإنسان اللاسلكيّة أفاقًا جديدة لتطبيقاتٍ لم تكن موجودة من قبل في المجالات الطبية؛ ففي بعض التطبيقات الحديثة في هذا المجال تمّ استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة المُستخدَمة في قياس المسافة والسرعة والتسارع لقياس دقيق لحركة جسم الإنسان، مع ربط هذه القياسات بقياسات طبيّة أخرى، وهو ما فتح الباب أمام دراسات طبية جديدة، من خلال دراسة تأثير حركة الجسم في العوامل الفسيولوجيّة الأخرى، ومن ذلك على سبيل المثال دراسة تأثير حركة جسم الإنسان في معدّل نبضات القلب بالنسبة لأمراض القلب المختلفة وفي الفئات العمريّة المختلفة، مع تسجيل رسم القلب الكهربائي المُناظِر لذلك. كما يمكن دراسة اختلاف نسبة السّكّر في جسم الإنسان مع ربطها بحركة جسم الإنسان، ولا يتوقّف استخدام أجهزة الحركة من: مسافة وسرعة وتسارع على كامل جسم الإنسان فحسب، بل يمكن استخدامها في دراسة حركة أجزاء الجسم من أطراف علويّة أو سُفليّة أو عضلات محدّدة، ومعرفة حالة هذه الأطراف بعد إصاباتها لتحديد مدى الإصابة وخطورتها، أو بعد العمليّات الجراحية؛ لمتابعة تطوّر حالة المريض أثناء الشفاء.

ومن التطبيقات التي تمّ تنفذيها بالفعل في المجالات الصحيّة تطبيق خاص بمتلازمة الموت المفاجئ عند الرُّضَّع (Sudden Infant Death Syndrome) أو (SIDS)؛ إذ قامت مجموعة من الباحثين من جامعة بيركلي بعمل نظام خاص أَسْمَوْه "النوم الآمن" (Sleep Safe) [١١]. يقصد هذا النظام إلى تنبيه الأمّ عند نوم طفلها على بطنه؛ من أجل تغيير هذا الوضع، وقد أشار الباحثون إلى أنّ اهتمامهم بهذا التطبيق يرجع إلى كون الدراسات الطبيّة قد أثبتت أنّ نسبة وفيات الأطفال الرُّضَّع بسبب هذه المتلازمة عند نومهم على البطن يزيد ثلاث عشرة مرة على نومهم على الظهر[١١]. ومع انخفاض نسبة الوفيات نتيجة هذه

www.j4know.com

المتلازمة بنسبة ٤٠٪ بسبب انتشار توعية الأطباء للآباء والأمّهات؛ إلّا أنّ هذه المتلازمة لا تزال هي السبب الرئيس في وفاة الأطفال قبل عمر السنة في الولايات المتحدة الأمريكية. ويقصد التطبيق المشار إليه إلى الاستفادة من شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في هذا المجال؛ إذ تمّ استخدام عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة عن طريق شبكها بملابس الطفل؛ لتحدِّد وضعية نوم الطفل لإعطاء التنبيه المطلوب عند الحاجة.

٢.١٠.٤ - تطبيقات صحيّة أخرى

إضافة إلى التطبيقات السابقة، توجد كذلك تطبيقات تهتمّ بمتابعة سلوكيات المريض وتحرّكاته. تساعد تلك التطبيقات في علاج بعض الأمراض، كمرض الزهايمر أو بعض الأمراض النفسية؛ إذ يتمّ وضع مجموعة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة في أماكن مختلفة ترصد حركة المريض، وتَكرار تردّده على تلك الأماكن. استَخدَمت تطبيقات أخرى شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة لتذكير المريض بمواعيد تناول الدواء أو الذهاب للطبيب ونحوه [٨٩]. واهتمّت تطبيقات أخرى بزرع عُقَد حساسات لاسلكيّة دقيقة داخل جسم الإنسان، منها ما يقوم باكتشاف مبكِّر للخلايا السرطانية [٩٠]، وأخرى تمّ زرعها للمكفوفين في قرنية العين؛ لترسل إشارات تنبيه للمخّ؛ لتفادي العوائق والموانع في طريق السير.

هناك مجموعة أخرى من التطبيقات اهتمّت بالأطباء والممرّضين، تقوم على تزويد الأطباء والممرضين بعُقَد حسّاسات لاسلكيّة تساعد في التعرف إلى أماكن وجودهم داخل المستشفيات؛ ما يسهّل استدعاءهم عند الحاجة، كما تساعد هذه العقد على إبلاغهم بحالة كل مريض من مرضاهم لتقديم المساعدة والمشورة الطبيّة العاجلة في حالة الطوارئ، ولإعطاء تنبيهات للممرضين عندما يحين وقت الدواء، أو وقت إجراء فحوصات طبيّة محدّدة، أو تمرينات طبيّة أو ما شابه.

وقد قامت إحدى الشركات الكوريّة بعمل تطبيق طريف لشبكة حسّاسات لاسلكيّة في المجال الصحي. يضع التطبيق مجموعة من الحسّاسات حول إحدى المرايا؛ بحيث تُجري هذه الشبكة دراسة عامّة للحالة الصّحّيّة للشخص الذي يقف أمام المرآة، فتحسب طول الشخص، ووزنه،

www.j4know.com

ومعدّل نبضات قلبه، ونسبة الدهون في جسمه، ثم تظهر على سطح المرآة جميع هذه القياسات.

١١.٤ - تطبيقات الرّياضة البدنيّة

تعدّ الرياضة البدنيّة من الممارسات المهمّة التي تساعد في الحفاظ على صحّة الإنسان بصورة عامّة، ولا يقتصر دورها على ذلك فحسب، بل يمتدّ ليلعب دورًا بارزًا في الترفيه من خلال الممارسة والمشاهدة. وقد أدّى هذا الاهتمام إلى استخدام عُقَد حساسات جسم الإنسان اللاسلكيّة في مجال الرياضة البدنية، ويوجد هناك العديد من الدراسات التي تمّ تنفيذها في هذا المجال، والتي تقصد إلى تحقيق أمرَيْن مهمّين: الأوّل هو الحفاظ على الحالة الصحية للرياضيّين، واكتشاف أيّ قصور في وظائف الجسم؛ ممّا قد يؤدي لمضاعفات مفاجئة، والثاني أنّها تستخدم لرفع كفاءة الرياضيين؛ من حيث توجيههم للتركيز على نقاط الضعف والقصور في أجسامهم. وقامت بعض الشركات بتصنيع أنواع مختلفة من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة التي تُستخدَم في هذا المجال، منها على سبيل المثال ما يُستخدَم لتسجيل معدّل نبضات القلب، ومعدّل التنفس، ونسبة الأوكسجين، ومستويات ثاني أكسيد الكربون في الدم، وأجهزة لقياس معدّل فقد الطاقة في الجسم، وأجهزة قياس المسافة التي يقطعها الإنسان وقياس سرعته، وأجهزة لتحديد مكان اللاعب في الملعب التي تفيد في معرفة اختيار اللاعب للمكان الصحيح من عدمه، وأصبحت هذه المنتجات متوافرة في صور مختلفة، بعضها في صورة ساعة يمكن ارتداؤها في المعصم، وأخرى يتمّ تثبيتها برباط حول أجزاءٍ معيّنة من الجسد أثناء ممارسة الرياضة للحصول على معلومات عديدة عن حالة اللياقة البدنيّة، ويمكن نقل هذه المعلومات لاسلكيًّا بصورة آنية للمدرّبين وللأطقم الطبيّة للاستفادة من هذه المعلومات في توجيه اللاعبين فنيًا وبدنيًا؛ ما يُسهم في الحفاظ على صحّة الرياضيين وتحسين أدائهم، وقد لاقت هذه التكنولوجيا قبولًا واسعًا لدى الرياضيين، ومن المتوقَّع أن تلقى قبولًا لدى العامّة كذلك، خاصّة المهتمّين بالرياضة أو الذين يسعون إلى إنقاص أوزانهم من خلال ممارسة الرياضة.

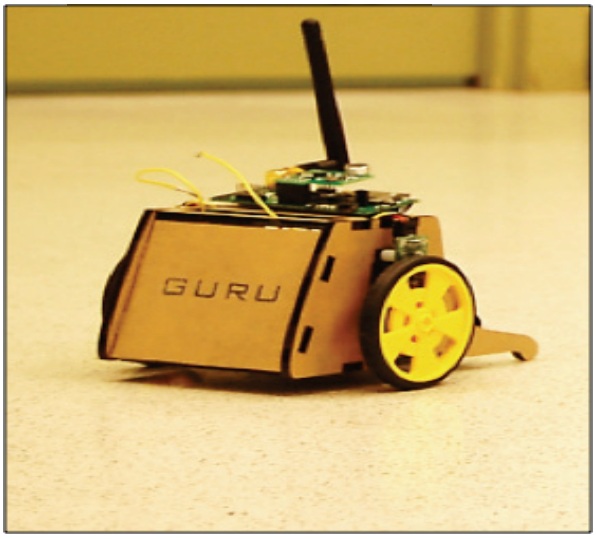
١٢.٤ - تطبيقات تستخدم الإنسان الآليّ (الروبوت)

تعاني شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة في بعض الأحيان – خاصّة تلك التي تغطّي مساحات

www.j4know.com

كبيرة – من وجود بعض المشكلات في تواصل عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة، وربّما تحتاج إلى عدد كبير من العقد؛ من أجل المحافظة على تواصل الشبكة، وقد قدّمت تقنية الإنسان الآلي (الروبوت) حلولًا كثيرة في هـذا المضمار، خاصّة مع القدرة على التحكم من بعد في الرجال الآليين وتوجيههم لأماكن محدّدة، وقد تم بالفعل استخدام الرجال الآليين في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عن طريق دمجهم في تلك الشبكات من خلال محورين. المحور الأول هو تزويد الرجال الآليين بعقد حساسات لاسلكيّة، ثم توجيههم إلى الأماكن الخطرة، أو الأماكن التي يصعب الوصول إليها في نطاق الشبكة. أمّا المحور الثاني فيختصّ بقيام الرجال الآليين بزيادة كفاءة تواصل الشبكة عن طريق الحركة بين عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة الموجودة في الشبكة؛ للعمل على القيام بدور المحطة الرئيسـة من خلال جمع المعلومات من العقد؛ ما يساعد تلك العقد على توفير طاقتها؛ إذ يحتاج الإرسال اللاسلكي عـبر مسافات قصيرة إلى طاقة أقلّ بكثير من تلك المطلوبة في حالة المسافات البعيدة. يبيّن (شكل ٤٨) صورة لعقدة لاسلكيّة في صورة إنسان آلي. تعدّ عمليات الإنقاذ من الكوارث كالحريـق، والسيول، والفيضانات، والبراكين، وغيرها واحدة مِنْ أهمّ التطبيقات التي تمّ الاستفادة فيها من الرجال الآليين في مجال شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة؛ إذ يتمّ تزويد الرجال الآليين بعقد حساسات لاسلكيّة، ثمّ يتم توجيههم؛ لمساعدة المحاصَرين والمُصابين، بالإضافة إلى القيام بعمل استشعار للعوامل المختلفة التي تدور في هذه الأماكن؛ لنقلها إلى المحطّة الرئيسة؛ لتساعد المسؤولين على اتّخاذ القرار الصحيح بصورة سريعة، ومـن التطبيقات المُقترَحة في استكشاف الأماكـن المجهولة استخدامُ رجال آليّين بأحجام صغيرة مزوَّدِين بالعديد من عُقَد الحسّاسات اللاسلكيّة؛ للدخول في الممرّات الضيقة في أهرامات الجيزة بجمهورية مصر العربيّة؛ للتعرّف إلى تلك الممرات، وإلى البحث عن الغرف السريّة؛ ما يُسهم في الكشف عن المزيد من أسرار تلك الأهرامات العملا

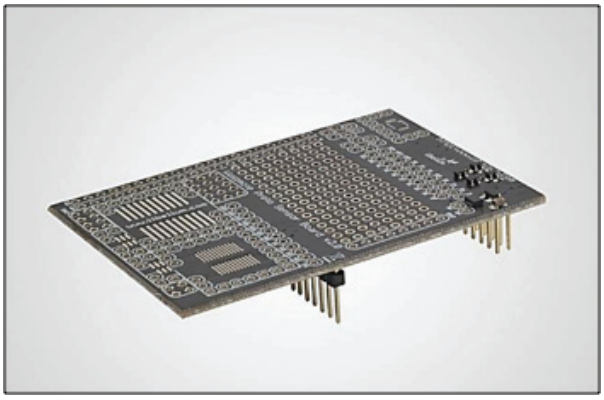
www.j4know.com



شكل ٤٨ (عقدة لاسلكيّة في صورة إنسان آلي) [٩٨]

١٣.٤ - تطبيقات أخرى

يظهر في (شكل ٤٩) صورة لعُقْدة لاسلكيّة خالِيَة من الحسّاسات؛ بحيث يمكن تركيب مجموعة من الحسّاسات المُختلِفة التي يُحتاج إليها؛ ما يسمح للمستخدم بتكوين عُقَد حساسات لاسلكيّة وفق حاجته.



شكل ٤٩ (عقدة لاسلكيّة بدون حساسات) [١١٤]

ولا يزال عالم تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة عالمًا خصبًا يتّسع للمزيد من التطبيقات الجديدة، التي تنبع من حاجة المستخدم، كما يمكن في العديد من الحالات دمج

www.j4know.com

تطبيقين أو أكثر للحصول علـى تطبيق جديد، وما دام أنه كان الفكر الإنساني لا يتوقف عن الإبداع والابتكار؛ فستخرج أفكار جديدة، يمكن الاستفادة منها في اختراع تطبيقات جديدة لشبكات الحسّاسـات اللاسلكيّة. وهناك مقولة شهيرة يتناقلهـا الباحثون في مجال شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة، وهي:

إن حدود تطبيقات شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة هي خيال الإنسان ...

www.j4know.com

www.j4know.com

كشاف الموضوعات

أ

الاتصال الضوئي ، ٨١

إنترنت الأشياء ، ٤٠

الأنظمة الإلكتروميكانيكية الدقيقة ٣٣ ٠

ب

بلوتوث ، ٩٢، ٩٣، ٩٤، ٩٨

ت

التحكم بالوصول إلى الوسائط ، ١٠٦، ١٣٠، ١٣١

ترابط الأنظمة المفتوحة ، ١٢٨

التردد الراديوي ، ٣٣

التعرف بواسطة موجات الراديو ، ٩٥

توجيه متساوٍ ، ١٣٤

توجيه معتمد على الموقع ، ١٣٤

توجيه هرمي ، ١٣٤

ج

جودة الخدمة ، ٦١

www.j4know.com

ح

حقل الاستشعار ، ٣٦، ١٢٤

خ

خدمة الحزمة العامة الراديوية ، ٩٠، ٩١، ٩٢، ٩٨

د

الدوائر الرقمية ، ٣٣

الدوائر المتكاملة محددة التطبيق ، ٧٢

ز

زيجبي ، ٥٣، ٩٨

ش

شبكات الحاسبات الجوالة الخاصة ، ٥٤، ٥٥، ٥٦، ٥٨، ٥٩، ٦٠، ٦١، ٦٣، ٦٤

شبكات الحساسات اللاسلكية المتكاملة ، ٤٩

شبكات الحساسات الموزعة ، ٤٥، ٤٦

ط

طبقة التطبيقات ، ١٢٨، ١٣٦

طبقة الشبكة ، ١٢٨، ١٣٣، ١٣٤

الطبقة الفيزيائية ، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٠

طبقة النقل ، ١٢٨، ١٣٣، ١٣٥، ١٣٦

www.j4know.com

طبقة ربط البيانات ، ١٢٨، ١٣٠، ١٣٢

م

المتحكمات الدقيقة ، ٧٢، ٧٣، ٧٤، ٧٦، ٧٧

محطة رئيسة ، ٣٤، ٩٧، ١١٥

المحول التماثلي الرقمي ، ٦٨، ٧٢

مستوى إدارة التنقل ، ١٢٨، ١٣٨

مستوى إدارة الطاقة ، ١٢٨، ١٣٧

مستوى إدارة المهام ، ١٢٨، ١٣٨

مصفوفات البوابات المنطقية القابلة للبرمجة ، ٧٤، ٧٦

المعالجات الدقيقة ، ٧٢، ٧٣، ٧٨

منظومة إلكترونية على شريحة ، ٣٣

ن

النطاق الصناعي العلمي الطبي ، ١٠٣

النظام الموحد للاتصالات المتنقلة ، ٩٠، ١٠١

نظام تحديد المواقع ، ٣٩، ٩٠، ١٢٠

نظام مراقبة صوتية ، ٤٣

نظرية الرسم البياني العشوائي ، ١٤١

و

واي فاي ، ٥٣، ٩٤، ٩٥، ٩٨

وحدة الاستشعار ، ٦٨

www.j4know.com

www.j4know.com

فهرس الأشكال

شكل ١ (عقدة لاسلكيّة) ٢١

شكل ٢ (رسم توضيحي لشبكة حسّاسات لاسلكيّة) ٢٢

شكل ٣ (صورة للعقدة اللاسلكيّة "ميكا ٢") ٢٨

شكل ٤ (شبكة حاسبات جوّالة خاصّة تتكون من شبكتين فرعيّتين) ٣٠

شكل ٥ (بناء عقدة الحسّاسات اللاسلكيّة) ٣٦

شكل ٦ (صورة لحساس يُستخدَم في قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو (يمين)، وآخر يُستخدَم في قياس نسبة الأوزون (يسار)) ٣٨

شكل ٧ (صورة لحسّاس يُستخدَم في قياس نسبة الرطوبة في الجو (يمين)، وحسّاس آخر يُستخدَم في قياس نسبة الرطوبة داخل تربة الأرض (يسار)) ٣٨

شكل ٨ (صورة لعقدة حساسات لاسلكيّة ويظهر في المنتصف وحدة المعالجة المركزية) ٤٠

شكل ٩ (أنواع موصلات هوائيات مختلفة تُستخدَم في وحدة الإرسال والاستقبال) ٤٤

شكل ١٠ (أنواع هوائيات مختلفة تعطي على الترتيب من اليمين لليسار نسبة طاقة للقوة المقاسة مقدارها صفر ديسبل، ٢ ديسبل، ٤،٥ ديسبل، ٥ ديسبل) ٤٥

شكل ١١ (مجموعة من بطاريات الليثيوم أيون المختلفة) ٤٦

شكل ١٢ (ألواح شمسية متحركة (يمين) وأخرى ثابتة (يسار) تستخدمان لشحن البطارية باستخدام الطاقة الشمسية) ٤٧

شكل ١٣ (وحدة إضافيّة تستخدم لتحديد موقع عُقدة الحسّاسات اللاسلكيّة) ٤٨

شكل ١٤ (وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة والنظام الموحّد للاتّصالات المتنقلة) ٤٩

شكل ١٥ (وحدة خدمة الحزمة العامّة الراديويّة من الجيل الثالث) ٤٩

شكل ١٦ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة كاملة مع إضافة وحدة بلوتوث) ٥٠

شكل ١٧ (وحدة بلوتوث إضافية تستخدم للتعرف إلى أجهزة بلوتوث في المنطقة المحيطة) ٥١

www.j4know.com

شكل ١٨ (وحدة واي فاي) ٥١

شكل ١٩ (وحدة تعرف بواسطة موجات الراديو تعمل بتردد ١٢٥ كيلو هرتز (يمين)، ووحدة من النوع نفسه تعمل بتردد ١٣,٥٦ ميجا هرتز (يسار)) ٥٢

شكل ٢٠ (شرائح مختلفة للتعرّف بواسطة موجات الراديو) ٥٢

شكل ٢١ (وحدة محطة رئيسة يمكن توصيلها بالحاسوب) ٥٣

شكل ٢٢ (مسيّر شبكات حسّاسات لاسلكيّة) ٥٣

شكل ٢٣ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة تقليدية تقوم بعمل المحطة الرئيسة في الشبكة) ٥٩

شكل ٢٤ (مُساعِد رقمي شخصي يقوم بعمل المحطة الرئيسة في الشبكة) ٥٩

شكل ٢٥ (المحطة الرئيسة في الشبكة تتمثل في صورة عَبَّارة (Gateway) لشبكة الإنترنت) ٦٠

شكل ٢٦ (العقدة لا تستطيع الإرسال مباشرة للمحطة الرئيسة بسبب العوائق) ٦١

شكل ٢٧ (محطة رئيسة واحدة فقط في الشبكة) ٦٢

شكل ٢٨ (تعدّد المحطات الرئيسة في الشبكة) ٦٣

شكل ٢٩ (طبقات الشبكة في شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة) ٦٩

شكل ٣٠ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم للكشف عن الغازات) ٧٩

شكل ٣١ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم لرصد التلوث الإشعاعي) ٨١

شكل ٣٢ (عُقد حساسات لاسلكيّة لقياس نسبة الإشعاع) ٨٢

شكل ٣٣ (طائرة بدون طيّار مزوَّدة بوحدة حسّاس لاسلكيّ لقياس نسبة الإشعاع) ٨٢

شكل ٣٤ (عقدة حسّاسات لاسلكيّة تعمل تحت المياه) ٨٤

شكل ٣٥ (لوحة عقدة لاسلكيّة لاكتشاف الحركة) ٨٦

شكل ٣٦ (لوحة كاميرا لاسلكيّة) ٨٧

شكل ٣٧ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم لرصد حالة أماكن انتظار السيارات) ٨٨

شكل ٣٨ (لوحة عقدة لاسلكيّة تستخدم في تطبيقات المدن الذكية) ٨٨

www.j4know.com

شكل ٣٩ (لوحة عقدة لاسلكيّة للقياسات الذكية) ٨٩
شكل ٤٠ (عقدة لاسلكيّة معلّقة على أحد أعمدة الإنارة في مدينة سانتاندير) ٩٠
شكل ٤١ (لوحة توضّح عددَ الأماكن الشاغرة لانتظار السيارات (يمين)، عقدة حسّاسات لاسلكيّة مثبّتة في الأرض تُستخدَم لتحديد الأماكن الشاغرة في مواقف السيارات (يسار)) ٩١
شكل ٤٢ (حسّاس لاسلكيّ يستخدم في قطاع النّفط) ٩٣
شكل ٤٣ (لوحة عقدة لاسلكيّة مع مجموعة من الحسّاسات تُستخدَم في التطبيقات الزراعيّة) ٩٤
شكل ٤٤ (استخدام الحسّاسات اللاسلكيّة في مزارع العنب في مدينة بونتيفيدرا الإسبانيّة) ٩٦
شكل ٤٥ (عقدة لاسلكيّة تقوم بعمل جهاز تخطيط القلب الكهربائي) ٩٧
شكل ٤٦ (عقدة لاسلكيّة تقوم بعمل جهاز التخطيط الكهربائي للعضلات) ٩٧
شكل ٤٧ (حساس لاسلكي لقياس نبض القلب ونسبة الأوكسجين في الدم) ٩٨
شكل ٤٨ (عقدة لاسلكيّة في صورة إنسان آلي) ١٠٢
شكل ٤٩ (عقدة لاسلكيّة بدون حساسات) ١٠٢

www.j4know.com

www.j4know.com

قائمة المصطلحات

Optical Communication	الاتّصال الضوئي
Key Management	إدارة المفتاح
Arpanet	أربانت
Automatic Repeat Request	إعادة الإرسال الآلي
Dependability	الاعتمادية
Internet of things	إنترنت الأشياء
Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)	الأنظمة الإلكتروميكانيكيّة الدقيقة
Ethernet	إيثرنت
Baud	باود
Software	البرمجيّات
Communication Protocol	بروتوكول الإرسال
Internet Protocol	بروتوكول الإنترنت
Mobile Internet Protocol	بروتوكول الإنترنت الجوّال
Transmission Control Protocol (TCP)	بروتوكول التحكّم بالنقل
User Datagram Protocol (UDP)	بروتوكول بيانات المستخدم
Bluetooth	بلوتوث
Propagation Effect	تأثير الانتشار
Fading Effect	تأثير التلاشي
Medium Access Control (MAC)	التحكم بالوصول إلى الوسائط
Open System Interconnection (OSI)	ترابط الأنظمة المفتوحة
Radio Frequency (RF)	التردد الراديوي
Forward Error Correction	تصحيح الخطأ الأمامي
Multiplexing	تصميم البيانات
Embedded Applications	التطبيقات المضمنة
Radio Frequency Identification (RFID)	التعرف بواسطة موجات الراديو
Flat Routing	التوجيه المتساوي

www.j4know.com

Location-based Routing	التوجيه المعتمد على الموقع
Hierarchical Routing	التوجيه الهرمي
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	جمعية مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
Quality of Service	جودة الخدمة
Personal Computer	حاسوب شخصي
Pocket Computer	حاسوب كفّي
Laptop Computer	حاسوب محمول
Host Computer	حاسوب مضيف
Desktop Computer	حاسوب مكتبي
Sensor Field	حقل استشعار
Distributed Computing	الحوسبة الموزعة
General Packet Radio Service (GPRS)	خدمة الحزمة العامّة الراديويّة
Digital Circuits	الدوائر الرقمية
Application-Specific Integrated Circuit (ASIC)	الدوائر المتكاملة المُحدّدة التطبيق
Memory	ذاكرة
Read Only Memory (ROM)	ذاكرة القراءة فقط
Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM)	ذاكرة للقراءة فقط قابلة للمسح والبرمجة كهربائيًا
Random Access Memory (RAM)	ذاكرة وصول عشوائيّ
Flash Memory	ذاكرة وميضيّة
ZigBee	زيجبي
Mobile Ad-hoc Networks (MANET)	شبكات الحاسبات الجوّالة الخاصّة
Wireless Sensor Networks (WSN)	شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة
Wireless Integrated Network Sensors (WINS)	شبكات الحسّاسات اللاسلكيّة المتكاملة
Distributed Sensor Networks (DSN)	شبكات الحسّاسات الموزّعة
Resource Sharing Networks	شبكات تقاسم الموارد

www.j4know.com

Noise	الضجيج الإلكتروني
Application Layer	طبقة التطبيقات
Network Layer	طبقة الشبكة
Physical Layer	الطبقة الفيزيائية
Transport Layer	طبقة النقل
Data Link Layer	طبقة ربط البيانات
(Network) Gateway	عَبَّارة (بين شبكتين أو أكثر)
Hardware	العتاد
Wireless Sensor Node / Mote	عقدة حسّاسات لاسلكيّة
Microcontroller	المتحكّمات الدقيقة
Base-Station / Sink	محطة رئيسة
Workstation	محطة عمل
Analog-to-Digital Converter (ADC)	المحوّل التماثلي الرقمي
Personal Digital Assistant (PDA)	المساعد الرقمي الشخصي
Mobility Management Level	مستوى إدارة التنقّل
Power Management Level	مستوى إدارة الطاقة
Tasks Management Level	مستوى إدارة المهامّ
Router	مسيّر الشبكة
Authentication	المصادقة
Field-Programmable Gate Array (FPGA)	مصفوفات البوّابات المنطقية القابلة للبرمجة
Microprocessor	المعالجات الدقيقة
Signal Processing	معالجة الإشارات
Photoresistor	مقاومة ضوئية
System-on-a-chip (SoC)	منظومة إلكترونية على شريحة
Switch	موزّع الشبكة
Universal Serial Bus (USB)	ناقل متسلسل عام
Industrial Scientific and Medical Band (ISM)	النطاق الصناعيّ العلميّ الطبيّ

www.j4know.com

Real Time System	نظام الزمن الحقيقيّ
Global System for Mobile Communications (GPR)	النظام الموحّد للاتّصالات المتنقلة
Global Positioning System (GPS)	نظام تحديد المواقع
Sound Surveillance System	نظام مراقبة صوتية
Random Graph Theory	نظريّة الرسم البياني العشوائيّ
Smart Phones	الهواتف الذكية
Wireless Fidelity (WiFi)	واي فاي
Transceiver Unit	وحدة الإرسال والاستقبال
Sensing Unit	وحدة الاستشعار
Power Unit	وحدة الطاقة
Processing Unit	وحدة المعالجة
Central Processing Unit	وحدة معالجة مركزيّة

www.j4know.com

المراجع

الكتب والأبحاث

[1] A. A. Abdou et al., "Wireless Sensor Network for Underwater Communication", IET Conf. on Wireless Sensor Systems (WSS'12), London, England, June 2012.

[2] A. A. Ahmed, H. Shi, and Y. Shang, "A Survey on Network Protocols for Wireless Sensor Networks", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Information Technology, Research and Education (ITRE'03), Newark, New Jersey, USA, Aug. 2003, pp. 301 – 305.

[3] A. Mainwaring et al., "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", Proc. of the 1st ACM Int. Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, Georgia, USA, Sept. 2002, pp. 88 – 97.

[4] A. Milenković, C. Otto, and E. Jovanov, "Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and an Implementation", Computer Communications Elsevier Journal (Special Issue on Wireless Sensor Networks: Performance, Reliability, Security, and Beyond), vol. 29, Aug. 2006, pp. 2521 – 2533.

[5] A. Norouzi and A. Sertbas, "An Integrated Survey in Efficient Energy Management for WSN using Architecture Approach", Int. Journal of Advanced Networking and Applications, vol. 3, July – Aug. 2011, pp. 968 – 977.

[6] A. Khan and L. Jenkins, "Undersea wireless sensor network for ocean pollution prevention", Proc. of the 3rd Int. Conf. on Communication System Software and Middleware (COMSWARE'08), Bangalore, India, Jan. 2008.

www.j4know.com

[7] A. Mahapatro and P. M. Khilar, "Fault Diagnosis in Wireless Sensor Networks. A Survey",IEEE Communications Surveys & Tutorials Journal, vol. 15, Mar. 2013.

[8] B. A. Frouzan, Data Communications and Networking, 5th edition New York, USA:McGraw-Hill, 2013.

[9] B. Krishnamachari, Networking Wireless Sensors, Ed. Cambridge, England:Cambridge University Press, 2005.

[10] B. Casselman, "Networks", Notices of the American Mathematical Society (AMS), vol. 51, Apr. 2004, pp. 392 – 393.

[11] C.R. Baker et al., "Wireless Sensor Networks for Home Health Care", Proc. of 21st Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07), Niagara Falls, Ontario, Canada, May 2007, pp. 832 – 837.

[12] C. M. Cordeiro and D. P. Agrawal, Ad Hoc & Sensor Networks. Theory and Applications, Ed. Hackensack, New Jersey, USA: World Scientific Publishing Company, 2006.

[13] C. K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and Systems, Ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.

[14] C. K. Toh,"Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks", Wireless Personal Communications, vol. 4, Mar. 1997, pp. 103 – 139.

[15] C. E. Perkins, Ad hoc Networking, Ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Addison-Wesley, 2001.

[16] C. Y. Ching and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", Invited paper in Proc. of the IEEE,

www.j4know.com

vol. 91, Aug. 2003, pp. 1247 – 1256.

[17] C. Wang et al., "A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks", IEEE Network, vol. 20, May – June 2006, pp. 34 – 40.

[18] C. Bettstetter and C. Hartmann, "Connectivity of Wireless Multihop Networks in a Shadow Fading Environment", ACM/Kluwer Wireless Networks, vol. 11, Sept. 2005, pp. 571 – 579.

[19] D. Estrin et al., "Instrumenting the World with Wireless Sensor Networks", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Salt Lake City, Utah, USA, May 2001, pp. 2033 – 2036.

[20] D. Puccinelli and M. Haenggi, "Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing", IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 5, 3rd quarter 2005, pp. 19 – 31.

[21] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Magazine, vol. 37, Aug. 2004, pp. 41 – 49.

[22] D. Djenouri, L. Khelladi and N. Badache, "A Survey of Security Issues in Mobile Ad Hoc and Sensor Networks", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 7, 4th quarter 2005, pp. 2 – 28.

[23] D. Liu and P. Ning, Security for Wireless Sensor Networks, Ed.New York, USA:Springer, 2007.

[24] E. Næss-Ulseth, D. Ausen, and K. Øyri, "Biomedical Wireless Sensor Network – Phase II (BWSN II)", Nordic Innovation Centre, Oslo, Norway, Feb. 2010.

[25] F. Zhao and L. Guibas, Wireless Sensor Networks. An Informa-

www.j4know.com

tion Processing Approach, Ed. San Francisco, California, USA: Elsevier, 2004.

[26] F. A. Onat and I. Stojmenovic, "Generating Random Graphs for Wireless Actuator Networks", IEEE Int. Symp.on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2007 (WoWMoM'07), Helsinki, Finland, June 2007, pp. 1 – 12.

[27] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors", Communications of the ACM, vol. 43, May 2000, pp. 51 – 58.

[28] A. Gkikopouli, G. Nikolakopoulos and S. Manesis, "A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications", 20th Mediterranean Conf. on Control & Automation (MED'12), Barcelona, Spain, July 2012.

[29] H. Kawahigashi et al., "Modeling Ad Hoc Sensor Networks using Random Graph Theory", 2nd IEEE Consumer Communications and Networking Conf. 2005 (CCNC'05), Las Vegas, Nevada, USA, Jan. 2005, pp. 104 – 109.

[30] H. Koubaa, and E. Fleury, "Service Location Protocol Overhead in the Random Graph Model for Ad Hoc Networks", Proc. of the 7th IEEE Symp. on Computers and Communications (ISCC'02), Taormina, Italy, July 2002, pp. 49 – 54.

[31] H. Karl and A. Willig, "A Short Survey of Wireless Sensor Networks", Technical Report TKN-03-018, Technical Univ. Berlin, Berlin, Germany, Oct. 2003.

[32] H. Karl and A. Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Ed. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2007.

www.j4know.com

[33] I.F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: A Survey", Computer Networks Elsevier Journal, vol. 38, Mar. 2002, pp. 393 – 422.

[34] I. F. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, vol. 40, Aug. 2002, pp. 102 – 114.

[35] I. Mahgoub and M. Ilyas, Sensor Network Protocols, CRC Press, 2006.

[36] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communications, vol. 11, Dec. 2004, pp. 6 – 28.

[37] J. Blumenthal, F. Reichenbach, and D. Timmermann, "Minimal Transmission Power vs. Signal Strength as Distance Estimation for Localization in Wireless Sensor Networks", 3rd Annu. IEEE Communications Society Conf. on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, Reston, Virginia, USA, Sept. 2006, pp. 761 – 766.

[38] J. Liu et al., "Feasibility Study of IEEE 802.15.4 for Aerospace Wireless Sensor Networks", IEEE/AIAA 28th Digital Avionics Systems Conf. (DASC'09), Orlando Florida, USA, Oct. 2009.

[39] J. Geier, Wireless LANs: Implementing High Performance IEEE 802.11 Networks, Ed. Indianapolis, Indiana, USA: SAMS, 2001.

[40] J. Dong, Q. Chen, and Z. Niu, "Random Graph Theory based Connectivity Analysis in Wireless Sensor Networks with Rayleigh fading channels", Proc. of Asia-Pacific Conf. on Communications 2007 (APCC'07), Bangkok, Thailand, Oct. 2007, pp. 123 – 126.

[41] J. Gehrke and L. Liu, "Guest Editors' Introduction: Sensor-Network Applications", IEEE Internet Computing Magazine, vol.

www.j4know.com

10, Mar. – Apr.2006, pp. 16 – 17.

[42] J. Heidemann, M. Stojanovic and M. Zorzi, "Underwater Sensor Networks: Applications, Advances and Challenges", Philosophical Transactions of the Royal Society A, Aug. 2012.

[43] J. Kleinberg, "Complex Networks and Decentralized Search Algorithms", Proc. of the Int. Congr.of Mathematicians, Madrid, Spain, Aug. 2006, pp. 1019 – 1044.

[44] J. Díaz, J. Petit, and M. Serna, "A Random Graph Model for Optical Networks of Sensors", IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 2, July–Sept. 2003, pp. 186 – 196.

[45] J. Lifton and M. Laibowitz, "Application-Led Research in Ubiquitous Computing: A Wireless Sensor Network Perspective", Workshop of the 3rd Int. Conf. on Pervasive Computing, Munich, Germany, May 2005.

[46] K. Bult et al., "Low-Power Systems for Wireless Microsensors", Int. Symp. on Low Power Electronics and Design, Monterey, California, USA, Aug. 1996, pp. 17 – 21.

[47] K. D. Wong, "Physical Layer Considerations for Wireless Sensor Networks", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Networking, Sensing and Control, Taipei, Taiwan, Mar. 2004, pp. 1201 – 1206.

[48] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", Elsevier Ad Hoc Networks Journal, vol. 3, May 2005, pp. 325 – 349.

[49] I. Khemapech, I. Duncan, and A. Miller, "A Survey of Wireless Sensor Networks Technology", Proc. of the 6th Annu. PostGraduate Symp. on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting, Liverpool, England, June 2005, pp. 26 – 31.

www.j4know.com

[50] K. Martinez, J. K. Hart, and R. Ong, "Environmental Sensor Networks", IEEE Computer Magazine, vol. 37, Aug. 2004, pp. 50 – 56.

[51] K. Padmanabh et al., "Random Walk on Random Graph based Outlier Detection in Wireless Sensor Networks", 3rd Int. Conf. on Wireless Communication and Sensor Networks 2007 (WCSN'07), Allahabad, India, Dec. 2007, pp. 45 – 49.

[52] K. Kredo II and P. Mohapatra, "Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", Elsevier Computer Networks Journal, vol. 51, Mar. 2007, pp. 961 – 994.

[53] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between system– Local and Metropolitan area networks– Specific requirements– Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", Sept. 2006.

[54] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between system– Local and Metropolitan area networks– Specific requirements– Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)– Amendment 1: Add Alternate PHYs", Aug. 2007.

[55] L. L. Peterson and B. S. Davie, Computer Networks. A Systems Approach, 5th ed. San Francisco, California, USA:Elsevier,2012.

[56] L. Yu, N. Wang, and X. Meng, "Real-time Forest Fire Detection

www.j4know.com

with Wireless Sensor Networks", Proc. of the Int. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Cologne, Germany, Aug. 2005, pp. 1214 – 1217.

[57] L. Schwiebert, S. K.S. Gupta, and J. Weinmann, "Research Challenges in Wireless Networks of Biomedical Sensors", Proc. of the 7th Annu. Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, July 2001, pp. 151 – 165.

[58] L. Vespa et al., "Signal Strength Analysis for Optimal Routing in Wireless Sensor Networks", IEEE Region 5 Technical, Professional, and Student Conf., Kansas City, Missouri, USA, Apr. 2008, pp. 1 – 5.

[59] M. N. Elshakankiri, "Energy Efficient Routing Protocol for Large-Scale Wireless Sensor Networks", Int. Conf. on Informatics & Applications (ICIA12), Kuala Terengganu, Malaysia, June 2012.

[60] M. N. Elshakankiri, "Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks using Dual Power Management", 7th Int. Computing Conf. in Arabic (ICCA 2011), Riyadh, Saudi Arabia, May –June 2011.

[61] M. N. Elshakankiri, "Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks using Dual Power Management", Communications of the ACS Journal, vol. 5, Aug. 2012.

[62] M. N. Elshakankiri, "Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", Ph.D. dissertation, Computer & Systems Engineering Dept., Faculty of Engineering, Ain Shams Univ., Cairo, Egypt, Aug. 2009.

[63] M. N. Elshakankiri, "Implementation of a Wireless Sensor Network for Al-Masjed Al-Nabawi", 4th Scientific Forum for Al-Ma-

www.j4know.com

dinah Al-Munawwara Researches, Al-Madinah Al-Munawwara, Saudi Arabia, Apr. – May 2012.

[64] M. N. Elshakankiri, "Intelligent Wireless Sensing for Monitoring Applications in the Two Holy Mosques", Technical Report P1126, Center of Research Excellence in Hajj and Omrah (HajjCoRE), Umm Al-Qura Univ., Makkah Al-Mukarramah, Saudi Arabia, Mar. 2013.

[65] M. N. Elshakankiri, M. N. Moustafa, and Y. H. Dakroury, "Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", 4th Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP'08), Sydney, Australia, Dec. 2008, pp. 393 – 398.

[66] M. Srivastava, R. Muntz, and M. Potkonjak, "Smart Kindergarten: Sensor-based Wireless Networks for Smart Developmental Problem-solving Environments", Proc. of the 7th Annu. Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, July 2001, pp. 132 – 138.

[67] M. A. Levasseur et al., "A Wireless Sensor Network For Residential Electrical Energy Consumption Measurement", 25th IEEE Canadian Conf. on Electrical & Computer Engineering (CCECE'12), Montreal, Quebec, Canada, Apr. – May 2012.

[68] M. A. M. Vieira et al., "Survey on Wireless Sensor Network Devices", Proc. of the 9th IEEE Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation, vol. 1, Lisbon, Portugal, Sept. 2003, pp. 537 – 544.

[69] M. Kuorilehto, M. Hännikäinen, and T. D. Hämäläinen, "A Survey of Application Distribution in Wireless Sensor Networks",

www.j4know.com

EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 5, Oct. 2005, pp. 774 – 788.

[70] M. Hefeeda and M. Bagheri, "Wireless Sensor Networks for Early Detection of Forest Fires", IEEE Int. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, Pisa, Italy, Oct. 2007, pp. 1 – 6.

[71] M. M. Molla and S. I. Ahamed, "A Survey of Middleware for Sensor Network and Challenges", Proc. of the Int. Conf. on Parallel Processing Workshops, Columbus, Ohio, USA, Aug. 2006, pp. 223 – 228.

[72] M. R. Akhondi, S. Carlsen and S. Petersen, "Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries", 24th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications, Perth, Australia, Apr. 2010.

[73] N. Patwari and A. O. Hero III, "Signal Strength Localization Bounds in Ad Hoc & Sensor Networks when Transmit Powers are Random", 4th IEEE Workshop on Sensor Array and Multichannel Processing 2006 (SAM'06), Waltham, Massachusetts, USA, July 2006, pp. 299 – 303.

[74] N. Wang, N. Zhang, and M. Wang, "Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry – Recent Development and Future Perspective", Computers and Electronics in Agriculture Elsevier Journal, vol. 50, Jan. 2006, pp. 1 – 14.

[75] N. P. Mahalik, Sensor Networks and Configuration. Fundamentals, Standards, Platforms, and Applications, Ed. Berlin, Germany:Springer-Verlag, 2007.

[76] P. Liaojun et al., "Fair Data Collection Scheme in Wireless Sensor Networks", China Communications Magazine, vol. 10, Feb. 2013.

www.j4know.com

[77] P. Kumar and A. Chaturvedi, "An Energy Efficient Algorithm to avoid Hot Spot effects in Wireless Sensor Networks", Int. Conf. on Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition (ICSIPRI'13), Ahmedabad, India, Feb. 2013.

[78] Q. Jiang and D. Manivannan, "Routing Protocols for Sensor Networks", 1st IEEE Consumer Communications and Networking Conf., Las Vegas, Nevada, USA, Jan. 2004, pp. 93 – 98.

[79] R. Jurdak, Wireless Ad Hoc and Sensor Networks.A Cross-Layer Design Perspective, Ed. New York, USA: Springer, 2007.

[80] R. Shorey et al., Mobile, Wireless, and Sensor Networks.Technology, Applications, and Future Directions, Ed. Hoboken, New Jersey, USA:John Wiley & Sons, 2006.

[81] R. Munjal and B. Malik, "Approach for Improvement in LEACH Protocol for Wireless Sensor Network", 2nd Int. Conf. on Advanced Computing & Communication Technologies, Rahtak, India, Jan. 2012.

[82] R. Diestel, Graph Theory, 2nd ed. New York, USA: Springer-Verlag, 2000.

[83] R. Albert and A. L. Barabási, "Statistical Mechanics of Complex Networks", Reviews of Modern Physics, American Physical Society, vol. 74, Jan. 2002, pp. 47 – 97.

[84] R. Rachman et al., "Energy Consumption at the Node in Underwater Wireless Sensor Network (UWSNs)", 6th UKSim/AMSS European Symp. on Computer Modeling and Simulation (EMS'12), Malta, Nov. 2012.

[85] S. Toumpis and G. A. Gupta, "Optimal Placement of Nodes in Large Sensor Networks under a General Physical Layer Model",

www.j4know.com

Proc. of the 2nd Annu. IEEE Communications Society Conf. on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (IEEE SECON'05), Santa Clara, California, USA, Sept. 2005, pp. 275 – 283.

[86] S. Farahani, ZIGBEE Wireless Networks and Transceivers, Ed. Oxford, England: Elsevier, 2008.

[87] S. W. Arms et al., "Flight Testing of Wireless Sensing Networks for Rotorcraft Structural Health and Usage Management Systems", 7th DSTO Int. Conf. on Health and Usage Monitoring Systems (HUMS'11), Melbourne, Australia, Feb. – Mar. 2011.

[88] T. Vladimirova et al., "Characterising Wireless Sensor Motes for Space Applications", 2nd NASA/ESA Conf. on Adaptive Hardware and Systems (AHS'07), Edinburgh, Scotland, 2007, pp. 43 – 50.

[89] Th. Arampatzis, J. Lygeros, and S. Manesis, "A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks", Proc. of the 13th Mediterranean Conf. on Control and Automation, Limassol, Cyprus, June 2005, pp. 719 – 724.

[90] V.R. Singh and K. Singh, "Wireless Sensor Networks for Biomedical Applications in Cancer Hyperthermia", 30th Annu. Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conf. (EMBS'08), Vancouver, British Columbia, Canada, Aug. 2008, pp. 5160 – 5163.

[91] V. Gazis et al., "Wireless Sensor Networking, Automation Technologies and Machine to Machine Developments on the Path to the Internet of Things", 16th Panhellenic Conf. on Informatics, Piraeus, Greece, Oct. 2012.

[92] W. Zhuang et al., "Localization for Hybrid Sensor Networks in

www.j4know.com

unknown Environments using Received Signal Strength Indicator", Proc. of the 2008 IEEE Int. Conf. on Information and Automation, Zhangjiajie, China, June 2008, pp. 567 – 572.

[93] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks", Proc. of the Hawaii Int. Conf. on System Sciences, Island of Maui, Hawaii, USA,Jan. 2000.

[94] W. Stallings, Data and Computer Communications, 9th ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA:Pearson Prentice Hall, 2011.

[95] Y. Wei and Y. Guan, "Lightweight Location Verification Algorithms for Wireless Sensor Networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 24, May 2013.

[96] Z. Watral and A. Michalsk, "Selected Problems of Power Sources for Wireless Sensors Networks", IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Feb. 2013.

مواقع الإنترنت

[97] Safecast [Online]. Available: http://blog.safecast. org [Accessed Nov. 23, 2013]

[98] GuruBhakts: Gesture based swarm approach to control robots on WSN [Online]. Available: http://iroboticist.com/2009/12/11/gurubhakts-gesture-based-swarm-approach-to-control-robots-on-wsn/ [Accessed Nov. 23, 2013]

[99] Soil Moisture Sensor [Online]. Available: http:// oceancontrols.com.au/ECS-014.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[100]Rivernet-A Wireless Sensor Network for remote monitoring of riverbed ecosystems [Online]. Available: http://sensors.cs.umass.edu/projects/ rivernet/ [Accessed Nov. 23, 2013]

www.j4know.com

[101]Carbon dioxide CO2 TGS 4161 Sensor [Online]. Available: http://spanish.alibaba.com/product-gs/ co2-carbon-dioxide-sensor-tgs-4161-566302232. html [Accessed Nov. 23, 2013]

[102]NetSim Platform for Network R&D [Online]. Available: http://tetcos.com/software.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[103]MiCS-2610 O3 Sensor Datasheet [Online]. Available: http://www.cdiweb.com/datasheets/e2v/ mics-2610.pdf [Accessed Nov. 23, 2013]

[104]Bluetooth Module Pro for Arduino [Online]. Available: http://www.cooking-hacks.com/index. php/bluetooth-module-pro-for-arduino [Accessed Nov. 23, 2013]

[105]Simulating TinyOS Networks [Online]. Available: http://www.cs.berkeley.edu/~pal/research/tossim.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[106]The DigiMesh Networking Protocol [Online]. Available: http://www.digi.com/technology/ digimesh/ [Accessed Nov. 23, 2013]

[107]Eltav Wireless Monitoring [Online]. Available: http://www.dmccc.com/Files/Product/Instrumentation_502/eltav_4165.asp [Accessed Nov. 23, 2013]

[108]Konrad Lorincz. MoteTrack User's Manual v2.1 [Online]. Available: http://www.eecs.harvard.edu/ ~konrad/projects/motetrack/manual/MoteTrack-Manual-2.1.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[109]Parallax GPS Receiver Module [Online]. Available: http://www.generationrobots.com/en/ 401020-parallax-gps-receiver-module-for-robots. html [Accessed Nov. 23, 2013]

[110]Sound Surveillance System (SOSUS) [Online]. Available: http://

www.j4know.com

www.globalsecurity.org/intell/ systems/sosus.htm [Accessed Nov. 23, 2013]

[111]IEEE 802.15 WPAN Task Group 4 (TG4) [Online]. Available: http://www.ieee802.org/15/ pub/TG4.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[112]The Network Simulator-ns-2 [Online]. Available: http://www.isi.edu/nsnam/ns/ [Accessed Nov. 23, 2013]

[113]Meshlium Datasheet [Online]. Available: http://www.libelium.com/development/meshlium/documentation/meshlium-datasheet [Accessed Nov. 23, 2013]

[114]Waspmote Datasheet [Online]. Available: http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/waspmote-datasheet [Accessed Nov. 23, 2013]

[115]Alberto Bielsa. Detecting Radiation Levels in Fukushima: an example of crowdsourcing [Online]. Available: http://www.libelium.com/ fukushima_crowdsourcing_radiation_social_project [Accessed Nov. 23, 2013]

[116]Wireless Interfaces 802.15.4/ZigBee [Online]. Available: http://www.libelium.com/products/ waspmote/interfaces [Accessed Nov. 23, 2013]

[117]RFID 125 KHz Networking Guide [Online]. Available: http://www.libelium.com/v11-files/ documentation/waspmote/rfid_125-networking_guide.pdf [Accessed Nov. 23, 2013]

[118]RFID/NFC 13.56MHz Networking Guide [Online]. Available: http://www.libelium.com/v11-files/documentation/waspmote/rfid_1356-networking_guide.pdf [Accessed Nov. 23, 2013]

www.j4know.com

[119]The LiteOS Operating System [Online]. Available: https://code.google.com/p/liteos/ [Accessed Nov. 23, 2013]

[120]Tiny Sensor-Based Computers Could Help Track Wildlife [Online]. Available: http://www.ncsu.edu/ news/press_releases/03_11/321.htm [Accessed Nov. 23, 2013]

[121]ns-3 discrete-event Network Simulator for Internet [Online]. Available: http://www.nsnam.org [Accessed Nov. 23, 2013]

[122]OMNeT++ [Online]. Available: http://www. omnetpp.org [Accessed Nov. 23, 2013]

[123]OPNET Application and Network Performance [Online]. Available: http://www.opnet.com [Accessed Nov. 23, 2013]

[124]QualNet [Online]. Available: http://web.scalable-networks.com/content/qualnet [Accessed Nov. 23, 2013]

[125]Shimmer All Products [Online]. Available: http://www. shimmer-sensing.com/shop/all-products [Accessed Nov. 23, 2013]

[126]An Introduction to Cooja [Online]. Available: https://github.com/contiki-os/contiki/wiki/An-Introduction-to-Cooja [Accessed Nov. 23, 2013]

[127]Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things [Online]. Available: http://www.contiki-os.org/index.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[128]SIEGA Agricultural Management Expert System [Online]. Available: http://www.siegasystem.com/ en/index.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[129]Smart Santander [Online]. Available: http://www .smartsantander.eu [Accessed Nov. 23, 2013]

www.j4know.com

[130]TinyOS [Online]. Available: http://www.tinyos. net [Accessed Nov. 23, 2013]

[131]Humidity Sensors [Online]. Available: http:// www.tme.eu/ html/EN/humiditysensors/ramka_7790_EN_pelny.html [Accessed Nov. 23, 2013]

[132]WiFi Alliance [Online]. Available: http://www. wi-fi.org [Accessed Nov. 23, 2013]

[133]ZigBee Alliance [Online]. Available: http://www. zigbee.org [Accessed Nov. 23, 2013]

[134]Bluetooth Module Pro for Arduino [Online]. Available: http:// www.cooking-hacks.com/index. php/bluetooth-mod¬ule-pro-for-arduino [Ac¬cessed Nov. 23, 2013]

[135]Galvanic Skin Response Sensor [Online]. Available: http://www. cooking-hacks.com/galvanic -skin-response-sensor-gsr-sweating-ehealth-medical

[136]Maher Elshakankiri, Figures number 2, 4, 5, 23 – 29 are designed and drawn by the author.

www.j4know.com

www.j4know.com

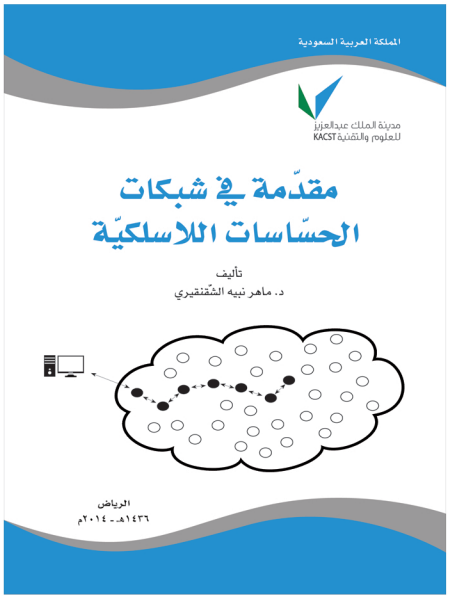
عن الكتاب:

يقدم الكتاب فكرة تفصيلية عن شبكات الحساسات اللاسلكية، والتي تعد أحد الفروع الحديثة في علم شبكات الحاسبات، وهو أول الكتب المطبوعة باللغة العربية في هذا المجال. ويهدف الكتاب إلى إثراء المكتبة العربية في مجال العلوم الهندسية من خلال دراسة شبكات الحساسات اللاسلكية، من حيث نشأتها، وكيفية بنائها، وتطبيقاتها المختلفة.

يتكون الكتاب من أربعة فصول، تسبقها قائمة بالمصطلحات المعربة المستخدمة في الكتاب مع ما يقابلها من مصطلحات في اللغة الإنجليزية. يقدم الفصل الأول من الكتاب لعلم شبكات الحساسات اللاسلكية، حيث يتناول فكرتها، وتاريخ نشأتها، وتطورها، إلى جانب مقارنتها بشبكات الحاسبات الجوالة الخاصة. أما الفصل الثاني فيشرح بالتفصيل مكونات عقد الحساسات اللاسلكية، ويناقش التحديات التي تواجه بناء تلك العقد، وكيفية التغلب عليها. يعرض الفصل الثالث صورة شاملة لطريقة تشغيل عقد الحساسات اللاسلكية وكيفية نقل البيانات فيما بينها، كما يقوم بشرح طبقات شبكات الحساسات اللاسلكية ومستوياتها المختلفة. أما الفصل الرابع والأخير فيقوم بطرح العديد من التطبيقات المتنوعة لشبكات الحساسات اللاسلكية في المجالات المختلفة.

المؤلف:

حصل على البكالوريوس والماجستير والدكتوراه من قسم هندسة الحاسبات كلية الهندسة جامعة عين شمس. وتتركز اهتماماته البحثية في شبكات الحساسات اللاسلكية، وتحديد الهوية باستخدام موجات الراديو، واستخدام تلك التقنيات في تطبيقات الحج والعمرة. يعمل مديراً لتحرير إحدى المجلات العالمية، وهو عضو لجنة تحكيم في العديد من المؤتمرات والمجلات العلمية. وله العديد من الأبحاث المنشورة والمشاريع البحثية في هذه المجالات. عمل سابقًا كعضو هيئة تدريس وباحث في عدد من الجامعات السعودية ومصر وكندا.



مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

تعمل مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية على توفير المعرفة للقارئ العربي. فقامت في هذا الإطار بنشر سلسلة من الكتب والمجلات العلمية وأتاحتها للقراء دون مقابل بصيغتيها الرقمية والورقية. فجميع إصدارات المدينة متاحة على موقعها الإلكتروني ليتمكن المتصفح من تحميلها أو قراءتها على الإنترنت.

هاتف: ٠١١ ٤٨٨٣٤٤٤ - ٠١١ ٤٨٨٣٥٥٥
فاكس: ٠١١ ٤٨٨٣٧٥٦
ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
المملكة العربية السعودية
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

رقم الوثيقة: 05P0030-BOK-0001-AR01

الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa
إصدارات المدينة: publications.kacst.edu.sa
البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
رقم: ٣٥٠٣٠٤
ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٨٠٤٩-٧٠-٩

www.j4know.com