

Study the Effectiveness of Patient's Monitoring in Hospitals Using Wireless Body Sensor Networks

Dr. Mothanna Alkubaily*

(Received 28 / 1 / 2020. Accepted 21 / 5 / 2020)

□ ABSTRACT □

Telehealth is a promising technology in its effectiveness, accuracy and prevalence, and given the importance of medical care and monitoring in areas that lack adequate medical staff or are difficult to access on the one hand, and as a result of the high costs of medical treatment, especially for the elderly on the other hand. Wireless body sensor networks (WBAN) has received a lot of attention from research and development, especially as a result of the tremendous development in wireless sensor networks and modern electronics that have caused smart small size sensors that can be positioned inside or on the body.

In our research, we will discuss the use of these modern networks in the medical field, in particular patient monitoring in hospitals, as continuous monitoring and control of vital parameters here are of great importance to patients' lives. The basic idea is to publish a group of sensor devices with a specific formation on the patient's body, and these devices have several functions to perform the integrated work of measuring and sensing important parameters, and send them as information to a coordinated node that collects these data and sends them to a main station that processes this information and makes decision. Then, it sends a message of this decision to the deployed agencies that translate this decision in order to adjust the parameters again.

Keywords: Wireless Body Sensor Networks, Vital parameters, Health monitoring systems, Throughput, Load.

* Associate Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. mothanna.alkubaily@gmail.com

دراسة فعالية مراقبة المرضى في المشافي باستخدام شبكات حساسات الجسم اللاسلكية

د. مثنى القبيلي*

(تاريخ الإيداع 28 / 1 / 2020. قُبِلَ للنشر في 21 / 5 / 2020)

□ ملخّص □

تعد الرعاية الصحية عن بعد تقنية واعدة في فعاليتها ودقتها وانتشارها، ونظراً لأهمية العناية والمراقبة الطبية في المناطق التي تقتصر لوجود كوادر طبية كافية أو يصعب الوصول إليها من جهة، ونتيجة لارتفاع تكاليف التطبيق خصوصاً من أجل كبار السن من جهةٍ أخرى. نالت شبكات حساسات الجسم اللاسلكية WBAN اهتماماً كبيراً من البحث والتطوير خصوصاً نتيجةً للتطور الهائل في شبكات الحساسات اللاسلكية والالكترونيات الحديثة التي أحدثت حساسات ذكية صغيرة الحجم قابلة للتوضع داخل الجسم أو عليه.

سنتطرق في بحثنا هذا إلى استخدام هذه الشبكات الحديثة في المجال الطبي وتحديداً مراقبة المرضى في المشافي حيث أن المراقبة المستمرة وضبط البارامترات الحيوية هنا ذات أهمية كبيرة على حياة المرضى. تقوم الفكرة الأساسية على نشر مجموعة من الأجهزة الحساسة بتشكيل معين على جسم المريض، ولهذه الأجهزة عدة وظائف لأداء العمل المتكامل المتمثل بقياس وتحسس البارامترات المهمة، وإرسالها على شكل معلومات إلى عقدة منسقة تقوم بتجميع هذه المعطيات وإرسالها الى محطة رئيسية تقوم بمعالجة هذه المعلومات واتخاذ القرار المناسب، ومن ثم إرسال هذا القرار إلى الأجهزة المنتشرة والتي تترجم هذا القرار على أرض الواقع ليتم ضبط البارامترات من جديد.

الكلمات المفتاحية : شبكات حساسات الجسم اللاسلكية، البارامترات الحيوية، نظم المراقبة الصحية، الإنتاجية، الحمل.

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

مقدمة:

ساهم التطور التقني لشبكات الاتصالات اللاسلكية والأنظمة الالكترونية في إنجاز أجهزة حساسات صغيرة الحجم، وذات تكلفة منخفضة واستهلاك طاقة منخفض. تتصل هذه الأجهزة الصغيرة ببعضها وتتعاون فيما بينها لنقل البيانات من جهاز إلى آخر وصولاً إلى جهاز التحكم والمراقبة الذي يقوم باستقبال البيانات ومعالجتها، فتكوّن بذلك ما يعرف بشبكات الحساسات اللاسلكية [1]. تكمن أهمية هذه الشبكات في أنها ساهمت في إنجاز العديد من تطبيقات المراقبة والتحكم عن بعد، من خلال التحسس لأحداث فيزيائية وحسية مختلفة كاليانات البيئية Swe0 مثل الحرارة، والضغط، والضوء، أو البيانات السمعية والمرئية كالصوت، والصورة وكذلك البيانات الصحية مثل دقات القلب ومستوى ضغط الدم ونسبة السكري ونسبة الأوكسجين في الدم [2] وغيرها من البيانات المختلفة المرتبطة بنوعية التطبيق وأهدافه. لذا استخدمت شبكات الحساسات اللاسلكية في العديد من التطبيقات في مجال المراقبة الصحية عن بعد حيث يتمكن الفريق الطبي من مراقبة المرضى عند بعد واستقبال إنذارات في حالات الخطر التي تكتشفها الحساسات اللاسلكية من خلال تحسس البيانات الصحية للمريض مثل درجة الحرارة وضغط الدّم ودقات القلب ومستوى السكر وغيره. ونشأ بعدها مفهوم شبكات حساسات الجسم اللاسلكية وهي شبكات لاسلكية تعتمد على حساسات بيولوجية تقوم باستشعار البيانات البيولوجية للجسم وترسلها إلى الفريق الطبي لاسلكياً، وهو ما يرفع من مستوى خدمات المراقبة الصحية خاصة وأنّ مثل هذه الحلول يمكن استخدامها لمراقبة المرضى وهم في منازلهم [3,4]. ولاشك في أن المراقبة المستمرة اعتماداً على الطبيب أو الممرضة أو المستخدم نفسه ستكون متعبة وتحتاج إلى جهد كبير وأي إهمال يمكن أن يؤدي بحياة المريض. وهنا لا بُدّ أن يكون لدينا تقنية متطورة متخصصة قادرة على اقتباس الإشارات الحيوية وإرسالها للطبيب بأقل تأخير زمني ممكن ودون أدنى ضياع في البيانات.

أهمية البحث وأهدافه:

- أصبح استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية طبياً موضوعاً بالغ الأهمية لما قدمته تقنياته من تسهيلات ودقة واختصاراً للوقت والجهد. إضافةً إلى أهمية التطبيقات التي يتم استخدام هذا النمط من الحساسات [5] والتي يمكن تقسيمها إلى:
- تطبيقات المراقبة المستمرة ضمن الزمن الحقيقي: وتستخدم لمتابعة بارامترات يتم الحصول عليها باستمرار مثل تغيرات المؤشرات الحيوية للأوعية الدموية، والتي كان الحصول عليها سابقاً يتم باستخدام تجهيزات سلكية مثل ECG (EchoCardiogram).
 - تطبيقات المراقبة الطبية لكبار السن وذوي الأمراض المزمنة: تستخدم للحصول على معلومات دورية ومستمرة من مرضى موجودين ضمن منازلهم ويتم ربط تجهيزات الحساسات مع المشفى أو الطبيب بواسطة الإنترنت أو GSM ، وذلك لتجنب إبقاء هؤلاء المرضى لمدة طويلة في المشفى، والمراقبة الافتراضية قد تأخذ وقتاً أقل من الوقت اللازم لو كان المرض ضمن المشفى.
 - تطبيقات جمع البارامترات الطبية طويلة المدى ضمن قواعد بيانات خاصة: تستخدم للدراسات طويلة المدى المتعلقة بأمراض معينة تُعد وباءً أو تشكل خطراً على المجتمع.

يهدف هذا البحث إلى دراسة استخدام شبكات حساسات الجسم اللاسلكية في مراقبة المرضى في المشافي، من خلال قياس البارامترات الحيوية المختلفة وإرسالها إلى مركز المراقبة ليتم معالجتها واتخاذ القرار المناسب. إضافةً لعرض

أشكال حساسات الجسم اللاسلكية وأهم التطبيقات العالمية التي تستخدم هذا النمط من الشبكات. ثم قمنا بإجراء محاكاة لشبكة في جناح مشفى من خلال قياس أهم بارامترات المحاكاة كالتأخير الزمني والإنتاجية والحمل.

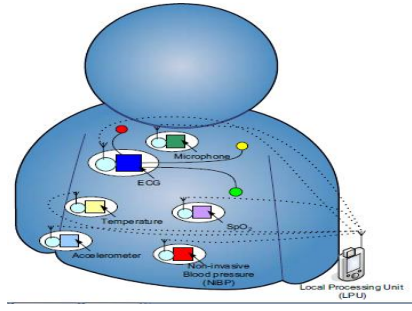
طرائق البحث ومواده:

- دراسة استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية في المجال الطبي وتحديدًا مراقبة المرضى في المشافي.
 - دراسة البارامترات الحيوية المناسبة والتي لها أهمية كبيرة على حياة المرضى.
 - تطبيق التصميم من خلال نشر مجموعة من الأجهزة الحساسة بتشكيل معين على جسم المريض، بهدف تحسس البارامترات الحيوية وإرسالها إلى عقدة التنسيق التي تقوم بمعالجة المعلومات واتخاذ القرار المناسب.
 - تطبيق التصميم باستخدام برنامج OPNET Modeler لمحاكاة شبكة من الحساسات المتموضعة على جسم المريض ضمن جناح مشفى، بحيث تحاكي الواقع قدر الإمكان.
- استخدمنا في بحثنا هذا برنامج OPNET Modeler 14.5 العريق في نمذجة الشبكات المختلفة، وهو محاكي شائع جداً ويتميز بقاعدة بيانات واسعة تشمل مختلف أنماط الشبكات، كما يتميز بالمرونة والسلاسة في تخصيص مختلف البارامترات.

1. شبكات حساسات الجسم/المناطق اللاسلكية WBAN

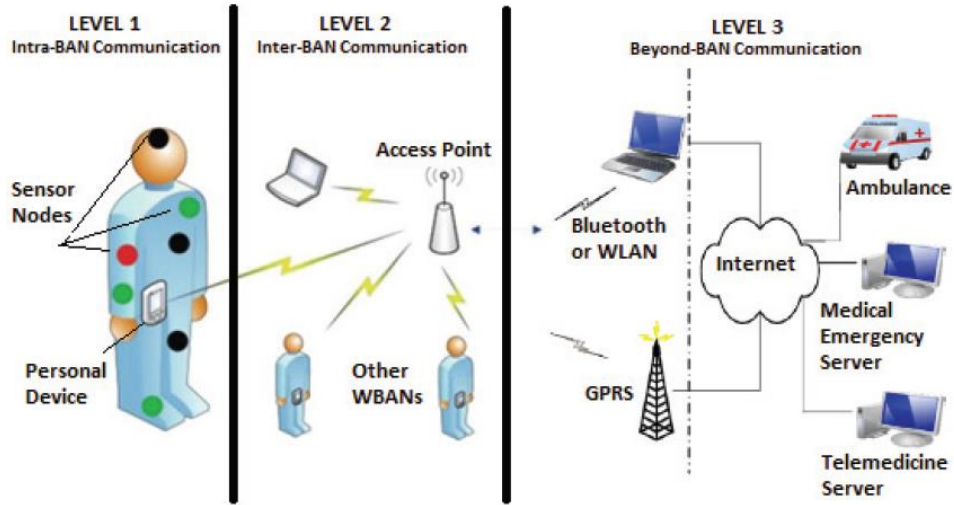
تعد إدارة الرعاية الصحية واحدة من أكثر التطبيقات الواعدة لتكنولوجيا المعلومات، وتعد الأجهزة المحمولة مثل أجهزة مراقبة معدل ضربات القلب، وأجهزة مراقبة ضغط الدم، أدوات أساسية في الرعاية المركزة. تقليدياً، يتم توصيل أجهزة الحساسات لهذه الأدوات إلى المرضى عن طريق الأسلاك، ويصبح المريض مقيداً بالأسلاك بشكل متسلسل. إضافة إلى ذلك، عندما يحتاج المريض إلى نقله، يجب إزالة جميع أجهزة المراقبة وإعادة توصيلها لاحقاً. لذا يُعد المجال الطبي من أكثر المجالات التي يمكنها الاستفادة من تقنيات شبكات الحساسات اللاسلكية لما تقدمه من اختصار للوقت والجهد سواء من خلال تقليل عدد الزيارات الدورية من قبل الطبيب أو الممرضين للمريض في المشفى، وأيضاً في تجنب ذوي الأمراض المزمنة وكبار السن البقاء في المشافي لمدة طويلة، حيث أثبتت تقنيات الحساسات اللاسلكية كفاءتها في هذا المجال من جميع النواحي التي يحتاجها المريض والطبيب، حيث يمكن لهذه الأجهزة اللاسلكية التواصل مع البوابة التي تربط شبكة المركز الطبي، ونقل البيانات إلى المخدم الذي يخزن البيانات الطبية بغرض الاستشعار والتحكم أو التقييم في الزمن الحقيقي.

تعد شبكة حساسات الجسم/المناطق اللاسلكية (Wireless Body/Area Sensor Networks) WBAN نوعاً خاصاً من شبكة الحساسات اللاسلكية WSN، تتوضع فيه مجموعة من الحساسات الحيوية الصغيرة غير المتجانسة على مناطق مختلفة من جسم الإنسان، قد تكون هذه الحساسات قابلة للارتداء (On-Body) أو مزروعة تحت الجلد (in-Body). وظيفتها هو جمع معلومات عن البارامترات الحيوية التي تمثل الحالة الصحية للجسم كما هو مبين في الشكل 1، وإرسالها لاسلكياً إلى عقدة منسق Coordinator ذات قدرات حسابية أعلى وطاقمة أكبر مقارنة بالحساسات. بحيث تؤمن هذه الشبكة توصيلاً سريعاً وموثوقاً لبيانات المريض إلى الطبيب أو مركز مراقبة طبي أو إلى سيارة إسعاف في الحالات الطارئة [1].



الشكل 1: شبكات حساسات الجسم اللاسلكية

- تتألف أنظمة المراقبة باستخدام WBAN من ثلاث مستويات [6]، كما يظهر في الشكل 2، وهي:
- المستوى الأول Intra-BAN: تقوم فيه الحساسات بقراءة المعلومات الحيوية وإرسالها إلى عقدة المنسق (الجهاز الشخصي). وقد يكون اتصال الحساسات مع المنسق مركزياً أو موزعاً (متعدد القفزات).
 - المستوى الثاني Inter-BAN: يقوم فيه المنسق بمعالجة البيانات المقروءة وإرسالها إلى عقدة مركزية Sink (نقطة وصول). وقد يكون اتصال المنسقات مع هذه العقدة إما مركزياً أو موزعاً.
 - المستوى الثالث Beyond-BAN: يتم فيه إرسال المعلومات عبر إحدى تقنيات الاتصال كالشبكة الخليوية أو WLAN أو الانترنت إلى مخدم طبي للتخزين أو طبيب للتشخيص أو سيارة إسعاف في حالة الطوارئ.



الشكل 2: بنية شبكات حساسات الجسم اللاسلكية

1.1 عناصر الشبكة WBAN:

1.1.1 الحساسات المستخدمة في المراقبة الصحية WBAN:

- حساسات فيزيولوجية: تستخدم لقياس بيانات الجسم الحيوية داخلياً أو خارجياً مثل درجة الحرارة، أو ضغط الدم، أو معدل الأكسجة، أو المخطط الكهربائي للقلب.
- حساسات الأنشطة الحيوية: تجمع الإشارات المعبرة عن حركة الجسم مثل التسارع، ومعدل زاوية الدوران.

1.1.2 البيانات الحيوية: تقسم إلى 4 أنواع [7]:

- رزم طبيعية Ordinary Packet: مثل درجة الحرارة، وضغط الدم.
 - رزم معتمدة على الوثوقية Reliability- Based Packet: حساسة لنسبة الخطأ مثل معدل الأكسجة.
 - رزم معتمدة على التأخير Delay-Based Packet: تحتاج للمراقبة في الزمن الحقيقي مثل المخطط العضلي، وتصوير فيديو لعملية جراحية.
 - رزم حرجة Critical Packet: لها أولوية في الحالات الحرجة مثل ضربات القلب، ومخطط القلب. ونظراً لأهمية التطبيقات الطبية نحتاج إلى أخذ بعض المعايير بالحسبان عند تصميم شبكة حساسات لاسلكية للمراقبة الطبية، وفيما يلي أهم الاعتبارات التصميمية الواجب مراعاتها في هذا المجال [8]:
 - 1. الوثوقية: قدرة النظام على الاستمرار في العمل حتى في حال حصول أعطال.
 - 2. كفاءة استهلاك الطاقة: على اعتبار أن الحساسات تستخدم البطاريات كمصدر للطاقة، وفي حال عدم القدرة على تبديل هذه البطاريات أو شحنها، فإنه من المهم إطالة عمر هذه الحساسات وذلك بتخفيض استهلاك الطاقة.
 - 3. التوجيه: القدرة على اختيار بروتوكول التوجيه الأفضل بحسب متطلبات الشبكة.
 - 4. عامل الزمن: القدرة على إرسال البيانات في الوقت اللازم ودون تأخير.
- ### 2. أشكال حساسات الجسم اللاسلكية

يتم وضع كل عقدة حساس لاسلكي بشكل استراتيجي على جسم الإنسان كرقعة صغيرة أو زرع، أو مخبأة في ملابس المستخدمين، مما يسمح بأخذ القياسات الفيزيولوجية واسعة الانتشار في البيئة الطبيعية على مدى فترة طويلة من الزمن. فيما يلي عدة أشكال من أجهزة التحسس اللاسلكية الفيزيولوجية [9]:

- أقراص البلع: والتي تحتوي على جهاز الإرسال والاستقبال اللاسلكي وأجهزة الحساسات التي يمكنها الكشف عن الإنزيمات، والأحماض النووية، والحموضة المعوية، والضغط، وتقلصات عضلة الأمعاء وغيرها من العلامات، والتي تسمح لـ WBAN بأن تشارك في مراقبة الأمراض المعدية المعوية غير الغازية.
 - أجهزة الحساسات السلكية ذات القطب الكهربائي إضافة إلى جهاز لاسلكي محلي: مثل ECG (ElectroCardioGraphy) لاسلكي، مع عدة أقطاب كهربائية توضع على الصدر لقياس علامات القلب.
 - حساسات رقعة / محمولة: مزودة بجهاز إرسال واستقبال لاسلكي مثبت على سطح الجسم البشري (على سبيل المثال حساس على شكل حلقة يرتديه المريض على إصبعه لمراقبة معدل ضربات القلب وضغط الدم).
 - أجهزة الحساسات الفيزيولوجية القابلة للزرع: مثل جهاز مراقبة مستوى الجلوكوز المدمج مع نظام حقن الأنسولين الذي يمكن غرسه في المريض مرة واحدة للعمل داخل جسم الإنسان.
 - أجهزة الحساسات النانوية الفيزيولوجية مع الاتصالات اللاسلكية: هذه التقنية قابلة للتحلل وقادرة على العمل من خلال مجرى الدم، حيث تقوم بأخذ القياسات الفيزيولوجية وترحيل البيانات لاسلكياً.
- يجب أن تفي عقد الحساسات اللاسلكية بمتطلبات عدة مثل أن تكون صغيرة الحجم وخفيفة الوزن ومنخفضة التكلفة وأن يكون لها استهلاك منخفض للطاقة ودرجة عالية من التكامل مع الحساس. كما ينبغي النظر في طرق تزويد الطاقة بشكل لاسلكي، مثل الحثية والسعوية والأمواج فوق الصوتية والضوء. قد تحتاج أجهزة الحساسات اللاسلكية في المستقبل إلى أساليب تزويد الطاقة مثل الاهتزاز (مثل كهروضغطية كهربية) أو تدرج درجة الحرارة (مثل thermopile)، أو استخدام مصدر طاقة بديل من سوائل الجسم (مثل الجلوكوز).

3. أنواع حساسات الجسم اللاسلكية

فيما يلي سنستعرض بعض أنواع حساسات الجسم اللاسلكية.

❖ حساس تخطيط كهربية القلب ECG Sensor

وهو رسم ينتج بواسطة تخطيط كهربية القلب [10-11]، والذي يسجل الجهد الكهربائي الناتج عن ضرب عضلة القلب في شكل رسم بياني متواصل. إنها الأداة الرئيسية في الفيزيولوجيا الكهربية للقلب، ولها وظيفة رئيسية في فحص وتشخيص أمراض القلب والأوعية الدموية، ومعرفة جودة الأدوية التي تعطى للقلب.



الشكل 3: حساس ECG

❖ حساس ضغط الدم Blood Pressure Sensor

هو حساس غير جراحي مصمم لقياس ضغط الدم البشري، حيث يقيس ضغط الدم الانقباضي والضغط الانبساطي وذلك باستخدام تقنية الذبذبات، كما يتم الإبلاغ عن معدل النبض [12].



الشكل 4: دائرة حساس قياس ضغط الدم

❖ حساس غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 Gas sensor

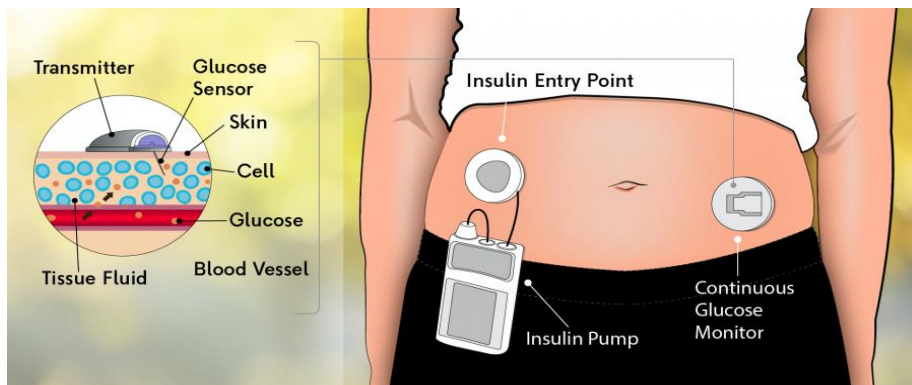
يمكن باستخدام هذا الحساس مراقبة التغيرات في مستويات ثاني أكسيد الكربون بسهولة [13]. وهو يقيس غاز ثاني أكسيد الكربون في نطاقين يتراوح من صفر إلى 10000 جزء في المليون ومن صفر إلى 100.000 جزء في المليون. يمكن على النطاق العالي استكشاف التغيرات التنفسية البشرية في مستويات CO₂، ويوفر النطاق السفلي حساسية أكبر للتنفس الخلوي ودراسات التمثيل الغذائي الضوئي.



الشكل 5: حساس قياس نسبة CO2 أثناء التنفس

❖ حساس سكر الدم Blood Glucose Sensor

تعد المراقبة المستمرة للجلوكوز هي طريقة متقدمة للأشخاص الذين يعيشون مع مرض السكري لفحص قراءات الجلوكوز في الوقت الفعلي أو مراقبة قراءات الجلوكوز على مدى فترة من الزمن. باستخدام هذا الجهاز، سيحصل نظام CGM تلقائياً على قراءات جلوكوز كل 5 دقائق، مما يتيح تقليل سرعة حركة الأصابع. يمكن استخدام CGM مع أو بدون مضخة الأنسولين [14].



الشكل 6: حساس قياس نسبة السكر في الدم

❖ حساس الحرارة Temperature Sensor

يمكن تطبيقه على سطح الجلد والإشارة إلى درجة حرارة الجسم بعد الوصول إلى الحالة المستقرة. هو حساس دقيق ومستقر ويتوافق مع الشهادات الطبية، ويمكن استخدامه في العديد من التطبيقات مثل حاضنات الأطفال ومراقبة المرضى ومختبرات الأبحاث الطبية [15].



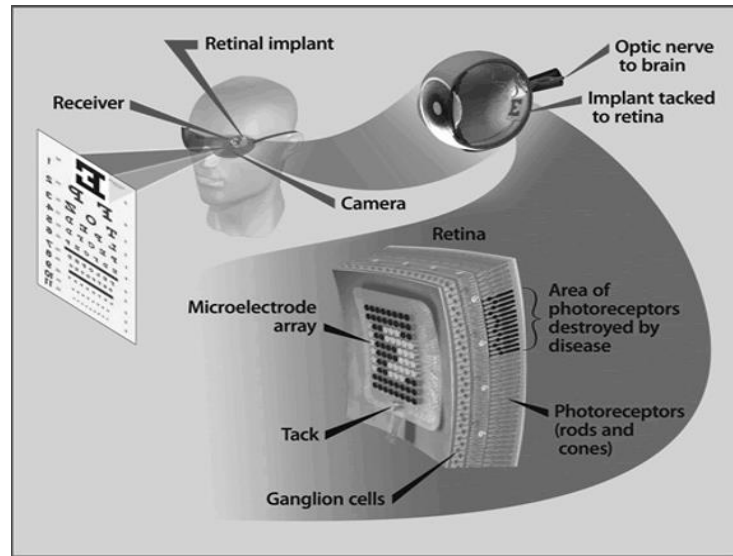
الشكل 7: دائرة حساس قياس درجة الحرارة

4. التجهيزات والتطبيقات المعتمدة على WSN في تطبيق الرعاية الصحية

نتيجة تنوع الحساسات المستخدمة في المجال الطبي أدى ذلك إلى ظهور طيف واسع من التطبيقات الطبية المعتمدة على شبكة حساسات الجسم اللاسلكية، والتي أظهرت تحسناً كبيراً في مستوى خدمات الرعاية الصحية لا سيما المنزلية منها، إضافة إلى الرعاية داخل عُرف العناية المشددة وعُرف العمليات الجراحية. فيما يلي نقدّم لمحة عن أبرز التطبيقات الطبية المعتمدة على شبكة حساسات الجسم اللاسلكية، والتي جاءت نتيجة دراسات طويلة لأهم مراكز الأبحاث في العالم كما يجري العمل على تطويرها وتحسينها باستمرار [8].

- **MobiHealth**: هو تطبيق الرعاية الصحية المتنقلة الذي يسمح للمريض أن يكون متنقلاً في كل مرة ويتم رصدها باستمرار باستخدام شبكة GPRS.
- **مشروع MOBICARE**: مشروع متميز وهام يستخدم نظام مراقبة المريض المتنقل ضمن منطقة واسعة، مع مراقبة مستمرة ومتزامنة في الوقت الحقيقي.
- **Vital Jacket**: هو أيضاً جهاز محمول ذكي، وهو بمثابة سترة يمكن ارتداؤها لمراقبة نبضات القلب للمريض. يقيس باستمرار معدل ضربات القلب بعد فترة منتظمة وتحديث تقرير المريض وإرساله إلى المختصين. تملك حساسات إنذار والتي تقوم بإعلام الخطر في حالة الطوارئ بسرعة [16].
- **LifeGuard**: تم تطويره لأول مرة لرواد الفضاء، والغرض الأساسي من هذا التطبيق هو مراقبة ضغط الدم ومعدل ضربات القلب.
- **LifeShirt**: هو أيضاً جهاز قميص قابل للارتداء، ومتاح تجارياً ويتألف من أجهزة حساسة مختلفة ومسجلات البيانات. بمعنى آخر هو عبارة عن حزمة كاملة بما في ذلك برنامج التسجيل الذي يقوم بتحديث حالة المريض بانتظام مثل ضغط الدم ومعدل ضربات القلب ومعدل النبض الخ [17].
- **CodeBlue**: فهو يعد أحد أهم المشاريع البحثية التصميمية في مجال مراقبة المرضى باستخدام شبكة الحساسات الطبية اللاسلكية، ويوفر إطاراً لإعطاء استجابة سريعة ضد حالات الكوارث، وهو يتيح المراقبة السريعة عن بعد وتتبع وضع المريض. ويعد أحد أشهر الأبحاث في مجال الرعاية الصحية المعتمدة على شبكة حساسات الجسم اللاسلكية، والذي يجري تطويره في مخابر جامعة هارفارد الأمريكية، تقوم مجموعة من الحساسات المتنوعة بقياس البارامترات الحيوية من جسم الانسان وإرسالها لاسلكياً إلى جهاز المستخدم (حاسوب مثلاً أو محمول شخصي... إلخ) [18].
- **SleepApnea**: هو جهاز محمول مفيد للغاية يستخدم لمراقبة العلامات المختلفة للمريض في الليل أثناء نومه، وهو يراقب الدورة الدموية، وكمية الأكسجين المأخوذة، والتنفس ومعدل ضربات القلب، وما إلى ذلك يوفر استجابة سريعة في حالة وجود أي مصاب.
- **UBIMON**: تمّ تطوير هذا المشروع ضمن المدرسة الملكية لعلوم الحاسوب في لندن، وكان الهدف الرئيسي منه البحث في إمكانية معالجة القضايا المتعلقة بعمر الحساس لا سيما الحساسات التي يتم ارتداؤها.
- **شبكة العين الصناعية**: يهدف هذا المشروع (Artificial Retina (AR) الذي تدعمه وزارة الطاقة الأمريكية إلى تطوير شبكية عين صناعية وزراعتها للمرضى فاقد البصر [19-20]، وبالتحديد علاج أحد الأمراض المتعلقة بالعمر والمؤدي إلى فقدان البصر بشكل كبير لدى الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 60 سنة، حيث يلحق أذية كبيرة بالمستقبلات البصرية في الشبكية.

يقوم مبدأ التطبيق على محاكاة وظائف الشبكية الطبيعية باستخدام حساس بصري في نقل إشارات البصر من العالم الخارجي إلى الدماغ ليتمكن المريض من الرؤية بوضوح، وهذا المشروع في تطوّر دائم. يتكوّن النموذج من 16 قطب ميكروي يؤدي بالنتيجة إلى قدرة المريض على تمييز حالة وجود الضوء أو عدم وجوده، ووصف حركة كائن، وإدراك عدد الموجودات وتحديدها. يتم العمل على تطوير هذا النموذج ليشمل 60 قطباً وحتى الـ 200 قطب أيضاً بحيث يمكن المريض من القدرة على تعرّف الوجوه وقراءة الأحرف، ويوضّح الشكل 9 آلية عمل الشبكية الصناعية.



الشكل 8: آلية عمل الشبكية الصناعية [19]

- **الاستجابة لحالات الطوارئ:** تُستخدم شبكة الحساسات اللاسلكية في تطبيقات الاستجابة لحالات الطوارئ Emergency Response، من خلال قياس وأتمتة الإشارات الحيوية في جسم الإنسان وإرسالها عبر الشبكة إلى مركز مراقبة يتيح الاستجابة السريعة في حال وقوع الحوادث والإصابات. يترافق نظام الاستجابة للطوارئ مع نظام تحديد المواقع إلى جانب عدد من أجهزة الاستشعار الطبية منها قياس النبض والحرارة وضغط الدم وتخطيط القلب [21]. يعدّ هذا التطبيق هاماً جداً في حال وقوع الكوارث والحوادث ويؤدي بالنتيجة إلى إنقاذ حياة أكبر عدد من المصابين.
- **تطبيق مراقبة المسنين:** يؤمّن هذا التطبيق Alarm-Net مراقبة المرضى المسنين عن بُعد ضمن إطار الرعاية الصحية المنزلية [22]، وهو عبارة عن شبكة هرمية من عُقد الاستشعار التي تراقب البيانات الفيزيولوجية والبيئية للمسنّ. يتمّ نشر أجهزة الاستشعار في مكان المعيشة لنقل المعلومات المتعلقة بالحركة والغبار والضوء والحرارة وإصدار تقارير وإنذارات تتعلّق بحالات الطوارئ التي قد يتعرّض لها المسنّ. صمّم هذا المشروع من قبل جامعة فرجينيا.
- **تطبيق مراقبة المريض:** تُعدّ تطبيقات الشبكات اللاسلكية في مراقبة المرضى من التطبيقات الهامة التي لاقت اهتماماً كبيراً من قِبَل الباحثين والعاملين في مجال تطوير التقنيات والبرمجيات في عالم الاتصالات اللاسلكية. يعتمد تطبيق مراقبة المرضى على نشر مجموعة من الحساسات الطبية اللاسلكية ضمن بيئة معيَّنة أو تثبيتها على جسم المريض بحيث يقوم كل حساس بجمع المعلومات الحيوية التي صُمِّم من أجلها، ثم يرسلها لاسلكياً إلى جهاز مركزي ليتمّ معالجتها وتخزينها أو إظهارها بحسب التطبيق [21].

5. استخدام WBSN في مراقبة المرضى:

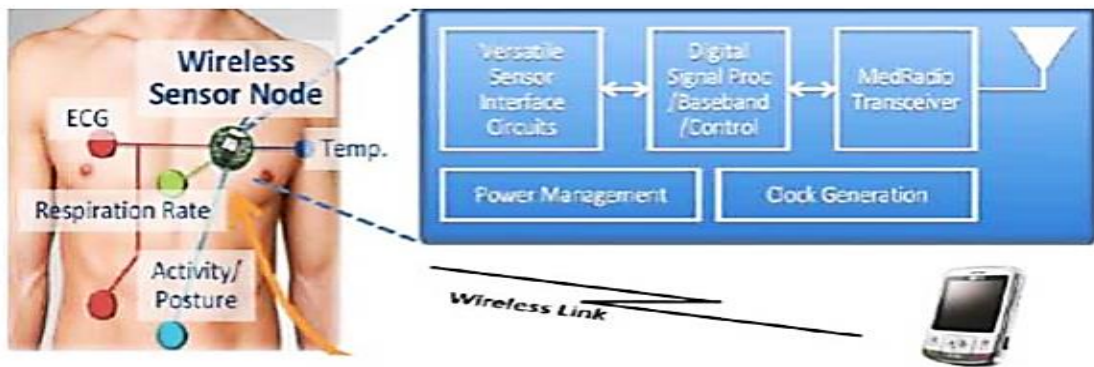
يؤكد الباحثون في الدراسة [23] أهمية التشخيص المبكر للمرض من خلال الكشف الدوري عن التغيرات الفيزيولوجية غير الطبيعية التي تطرأ على جسم الانسان بهدف تجنب الحالات الحرجة، ووسط الزيادة الهائلة في أعداد المرضى يصبح من الصعب تقديم الرعاية الصحية من قبل الكادر الطبي في الوقت الحقيقي وإبقاء المرضى تحت مراقبة الطبيب المستمرة. لذا فإن النظام المصمم لهذا الغرض والذي يعتمد على الرصد الدوري للمرضى من خلال عقد الاستشعار المصممة لكشف التغيرات البيولوجية، ينبغي أن يحقق مراقبة فعالة لجميع المرضى في نفس الوقت، وهذا ما يمكن تحقيقه بسهولة باستخدام شبكة حساسات الجسم اللاسلكية. بناء على ما سبق، يتم توصيل أجهزة استشعار جسم الإنسان بواسطة إحدى تقنيات الاتصال المناسبة مع شبكة لاسلكية تُدار بشكل جيد، أجهزة الاستشعار مصممة لقياس بارامترات محددة كقياس معدل نبض القلب، ضغط الدم، الأنسولين... إلخ، وبعد أن يتم قياس البارامترات الحيوية تتم معالجتها في وحدة معالجة محلية ويقوم مخدم الشبكة بتخزين تلك البيانات ومن ثم إرسالها إلى قاعدة البيانات.

قامَ الباحثون في دراسة أخرى [24] بدراسة أهمية رصد بعض البارامترات الحيوية لمرضى القلب والأوعية الدموية باستخدام شبكات WBSNs في خفض عدد الوفيات، حيثُ تؤكد الإحصائيات أنَّ أمراض القلب والأوعية الدموية لاسيما النوبة القلبية هي المسبب الأول للوفيات في بريطانيا وهي تعادل 38% من الوفيات سنوياً، 29% من تلك الحالات توفيت قبل الوصول إلى المستشفى بيد أنَّ النوبة القلبية تحدث دون أي مؤشّر مسبق. التطبيق عبارة عن صفحة مدمجة تقوم بمراقبة القلب بحيث يلتقط أي اضطراب في جسم الانسان من خلال شاشة تسجل إشارات كهربائية القلب ECG باستمرار ويتم استرجاعها كل 24 ساعة وتحليلها من قبل الطبيب بشكل روتيني، إضافة إلى ذلك يتمّ التطبيق بنظام تحذير إسعافي يعطي إنذار عند حدوث أي تغييرات غير طبيعية في الجسم حيثُ يطلق الإنذار في الوقت الحقيقي. وتشير الدّراسة إلى كون التطبيق المقترح يواكب التطور الهائل الذي لحق بأنظمة مراقبة المريض، حيث أنه قابل للارتداء، يقيس درجة حرارة الجسم ومرفق بنظام إرسال لاسلكي إضافة إلى نظام تحديد المواقع GPS ومعالجة بيانات أولية ضمن التطبيق، يتم إرسال البيانات إلى جهاز المساعد الرقمي الشخصي PDA وإلى خادم الشبكة المركزي باستخدام شبكات اتصال الهاتف الخليوي. بنتيجة الدّراسة استطاع الباحثون بواسطة التطبيق المقترح التنبؤ بعدد كبير من النوبات القلبية قبل حدوثها وفي الوقت الحقيقي وبالتالي إنقاذ حياة المريض قبل فوات الأوان.

قام في هذا السياق الباحثان [25] من قسم الإلكترونيات والاتصالات عن بُعد في جامعة مومباي الهندية بتصميم نظام ذكي لمراقبة المرضى من خلال قياس علاماتهم الحيوية عن بُعد باستخدام تقنية الاتصال ZigBee في جمع البيانات ونقلها إلى مركز المعالجة والعرض ليتم إظهارها على جهاز الطبيب المحمول أو المساعد الرقمي الشخصي. شملت البارامترات المُقاسة من جسم المريض (ضغط الدّم، الحرارة، الرطوبة، ECG، EEG، قياس التنفّس إضافة إلى قياس نسبة غلوكوز الدّم)، كما يحتوي التطبيق على نظام إنذار للحالات الحرجة وتمّ تطبيق نظام التشفير اللاسلكي على الإشارة الحيوية المُرسلة. تؤكد نتائج القياس أنَّ الإرسال يتمّ في الوقت الحقيقي والبارامترات المُقاسة دقيقة، لذا يؤمن التطبيق المقترح تقديم الرّعاية الصحية عن بُعد بشكل فعّال [18].

يطرح الباحثون في دراسة تصميمية موسّعة [26] مشكلة غاية في الأهمية بحيث تشكل عائقاً أمام تقديم الرعاية الصحية ضمن قسم العناية المركّزة بالشكل المطلوب، فبسبب أعداد المرضى المتزايدة يصعب على الطبيب أو المُمرض أن يزور المريض ويقوم بعلاماته الحيوية ويُراقب حالته باستمرار، حيثُ تكمن أهمية المراقبة المستمرة في القدرة على اتخاذ قرارات سريعة ودقيقة في الوقت المناسب لإنقاذ حياة المريض. لذا تتلخّص متطلبات أي نظام مراقبة

بالقدرة على التسجيل المُستمر للبيانات الحيويّة، ودقّة البيانات المُقاسة إضافة إلى إمكانيّة معالجتها وعرضها في الوقت الحقيقي دون تأخير زمني يُذكر، وبناءً على ذلك طوّر الباحثون نظاماً موثقاً في مراقبة المرضى عن بُعد وفعالاً من حيث استهلاك الطّاقة كما أنّه قادر على إرسال البيانات في الزمن الحقيقي. حيث إنّ أنظمة المراقبة الحاليّة في غرف العناية المُركّزة تكتفي بالعمل في حال حدوث خلل معيّن في النظام، وتُعاني من مشكلة رئيسيّة ألا وهي عدم قدرتها على نقل البيانات باستمرار وبالتالي رعاية صحيّة منخفضة الفعاليّة، إضافة إلى محدوديّة استخدام التقنيّات اللاسلكيّة في الاتصال. استخدمَ النظام حساسات طبيّة لقياس ثلاثة بارامترات رئيسية وهي (درجة الحرارة، نبضات القلب و ECG) ويتم تسجيلها بشكل مستمر وإرسالها للمعالجة ثمّ تحويلها إلى الشكل الرّقمي وتخزينها، كما تمّ تطوير خوارزميّات العرض لإظهار الإشارة على شكل الطول الموجي كما هو موضح في الشكل 9.



الشكل 9: توصيل الحساسات إلى جسم المريض [22]

وبنتيجة الدّراسة تمّ استعراض عدّة معطيات سجّلها الحساس بدقّة وفي حالات عديدة للمريض مثل قيم الحالة الطبيعيّة والقيم بعد القيام بالمشي مثلاً أو عند الاستيقاظ كما أنّ البيانات الحيويّة المُسجّلة وصلت في الوقت الحقيقي. أما البحث [27] فيهدف لدراسة بنى شبكات الحساسات اللاسلكية التي يمكن أن تستخدم في مراقبة الأجنحة في المشافي ومراكز العناية والمراقبة الصحية لاستخلاص التوصيات والاقتراحات الضرورية من أجل اختيار بنية شبكات الحساسات اللاسلكية الطبية المناسبة. وذلك بما يراعي حجم الشبكة الذي يعكس عدد الحساسات التي تعتمد عليها، وكذلك اختيار التقنية المناسبة لتطبيقها في آلية نقل المعطيات بما يحقق أداءً أفضل وفقاً لمعايير معتمدة في هذا المجال، ولا سيما النفاذية/الإنتاجية/Throughput والتأخير الزمني Time Delay ونسبة تسليم المعطيات Delivery Ratio. يقترح الباحثون في [28] نهجاً عاماً لاستخدام شبكات حساسات الجسم اللاسلكية إضافةً لخوارزمية لتقييم المخاطر الصحية واتخاذ القرارات (Health-RAD) لأغراض مراقبة المريض عن بُعد. تحدد Health-RAD مستوى شدة الحالة الصحية للمريض بشكل روتيني وفي كل مرة يتم اكتشاف مشكلة حرجة بناءً على البارامترات الحيوية. لذا يتم ضمان إجراء تقييم مستمر للصحة ومراقبة التحسن أو تدهور حالة المريض. يتم تمثيل مستوى الخطورة بواسطة متغير خطر تتراوح قيمه بين 0 و 1. وكلما ارتفعت قيمة الخطر، كانت الحالة الصحية للمريض أكثر خطورة وكلما تطلب الأمر عناية طبية.

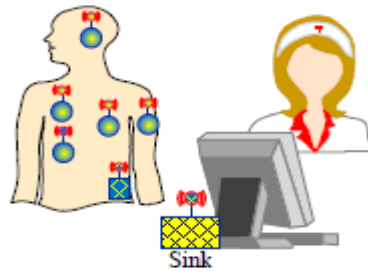
يقترح [29] نظام مراقبة المريض عن بعد باستخدام IEEE 802.15.4 حيث يتكون النموذج المقترح من مجموعات من أجهزة استشعار محلية تقع على أجزاء مختلفة من الجسم، يتصل كل رأس عنقودي ببوابة محلية لاسلكية (WLG)

تقع داخل مبنى المريض. تتواصل WLG بدورها مع بوابة المستشفى عن بعد (HG) بحيث يتم نقل البيانات التي تم جمعها من WLG إلى الواجهة المقابلة في HG والذي يطبق بدوره نموذج القرار المنطقي الضبابي Fuzzy-logic بناءً على متغيرات الإدخال وعمر المريض ونبض القلب ودرجة حرارة الجسم والنسبة المئوية لتشبع الأكسجين في الدم وضغط الدم وتحديد الحالة الحرجة للمريض.

المحاكاة وإظهار النتائج:

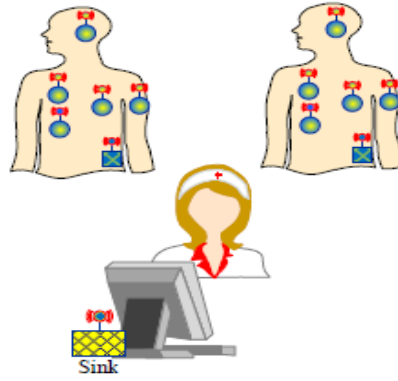
تم في هذا البحث دراسة ثلاث سيناريوهات وفق مايلي.

السيناريو الأول: يتضمن وجود غرفة تتسع لمريض واحد فقط كما في الشكل 10، ويتم إيصال معطيات الحساسات الموجودة على جسم المريض إلى المنسق الموجود على جسمه أيضاً ومنه إلى غرفة المراقبة باستخدام البنية النجمية.



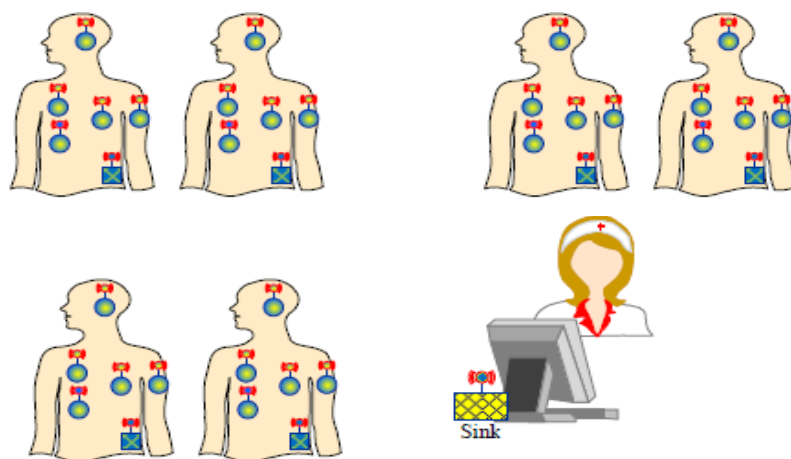
الشكل 10: السيناريو الأول: غرفة بمريض واحد

السيناريو الثاني: غرفة تتسع لمريضين كما في الشكل 11. تعتمد البنية النجمية لإيصال معطيات الحساسات الموجودة على جسم المريض إلى المنسق الموجود على جسمه أيضاً، وتعتمد البنية النجمية بين المنسقات والمجمع الموجود بغرفة المراقبة.



الشكل 11: السيناريو الثاني: غرفة بمريضين

السيناريو الثالث: جناح فيه ثلاثة غرف، وكل غرفة تحوي مريضين كما في الشكل 12. وتعتمد البنية النجمية لإيصال معطيات الحساسات الموجودة على جسم المريض إلى المنسق الموجود على جسمه أيضاً، وأيضاً بين المنسقات والمنسق الخاص بكل غرفة، وبين المنسقات الخاصة بالغرف والمجمع الموجود بغرفة المراقبة.



الشكل 12: السيناريو الثالث: جناح بثلاثة غرف، وكل غرفة بمرضىين

تم اختيار المعيار IEEE802.11g الذي يدعم معدل نقل عالٍ 54Mbps، وخصصنا لكل عقدة معدل نقل ومستوى طاقة إرسال محدد حسب احتياجات العقدة وأهمية البيانات التي تتحسسها وفق الجدول 1، بينما المنسق الموجود بغرفة المراقبة تم تخصيصه بمعدل النقل الأعظمي 54Mbps وطاقة إرسال 0.3W .

الجدول 1: خصائص العقد الحساسة والمنسقة [27]

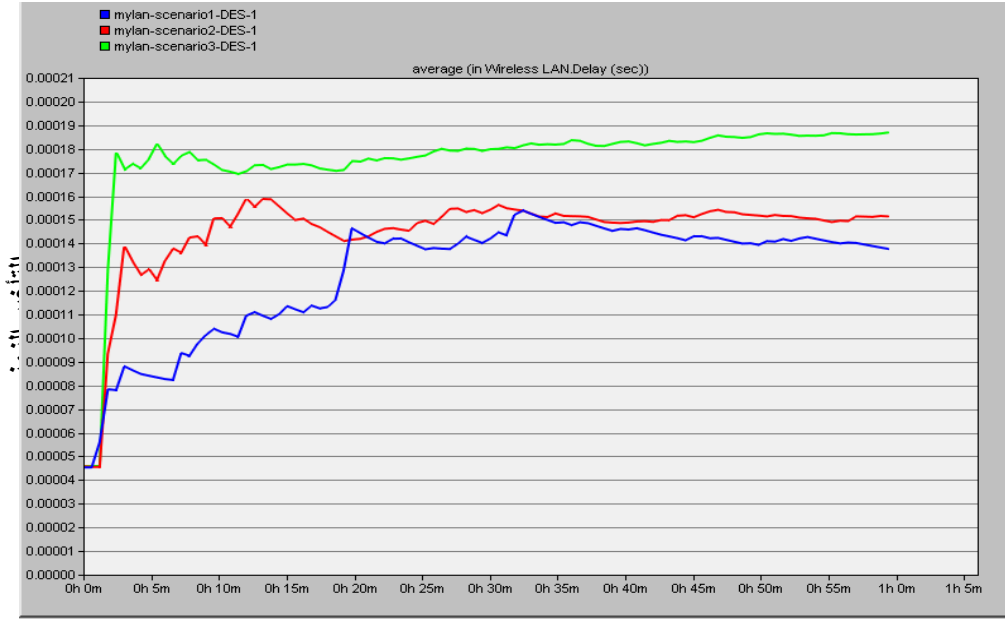
Power Transmission (W)	Data Rate (bps)	
0.005	2 Mbps	Temperature sensor
0.05	12 Mbps	ECG sensor
0.02	6 Mbps	Blood_O2 sensor
0.03	9 Mbps	Pressure sensor
0.03	9 Mbps	Glucose sensor
0.15	36 Mbps	عقدة المنسق على جسم المريض
0.2	48 Mbps	عقدة المنسق في كل غرفة
0.3	54 Mbps	عقدة المجمع في غرفة المراقبة

لمقارنة الأداء تم دراسة العديد من البارامترات وهي:

- **التأخير الزمني Delay:** هو الزمن اللازم للإطار كي يصل من المنبع إلى الهدف. ومتوسط التأخير هو القيمة المتوسطة لتأخير الأطر مأخوذاً من أجل جميع الأطر على كامل زمن المحاكاة، ومن أجل عدد مرات المحاكاة.
- **الحمل load:** في الشبكات، يشير معدل الحمل إلى كمية البيانات (حركة البيانات) التي تنقلها الشبكة.
- **إنتاجية الشبكة Network Throughput:** وهو معدل إرسال المعطيات الحقيقي في الشبكة ويرتبط بعدة عوامل مثل حمل الشبكة والاختناقات التي قد تحدث والتصادمات التي لا بد منها حين استخدام البروتوكولات المعتمدة على الدخول العشوائي إلى الوسط المشترك. يمكن قياس الإنتاجية بعدد الخانات الثنائية التي تستطيع الشبكة نقلها في وحدة الزمن. وقد اعتمدنا قياس الإنتاجية بالبت في الثانية الواحدة.

النتائج والمناقشة:

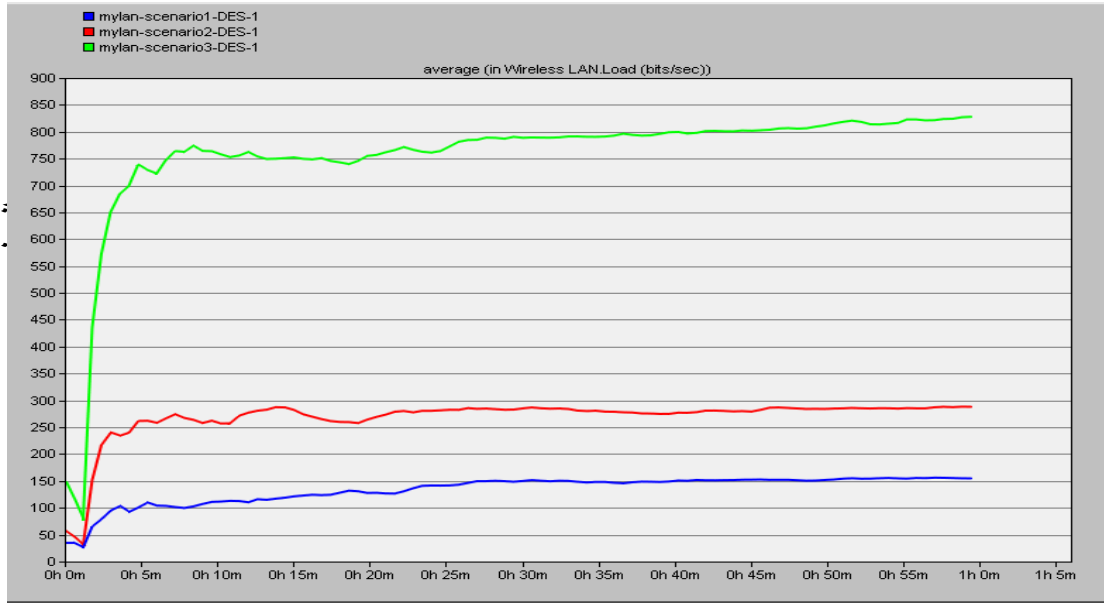
بمقارنة السيناريوهات الثلاثة وجدنا أنه يزداد التأخير الزمني للشبكة تدريجياً في كل سيناريو على حدى. كما يزداد في السيناريو الثاني مقارنة بالأول وفي السيناريو الثالث مقارنة بالأول والثاني كما هو موضح في الشكل 13، وذلك بسبب زيادة عدد المرضى بالتالي زيادة عدد العقد الحساسة والعقد المنسقة، بما يؤدي لزيادة كمية البيانات المنتقلة وتبقى السيناريوهات الثلاثة مقبولة فأعظم تأخير في السيناريو الثالث يصل لـ 0.19 msec.



الزمن

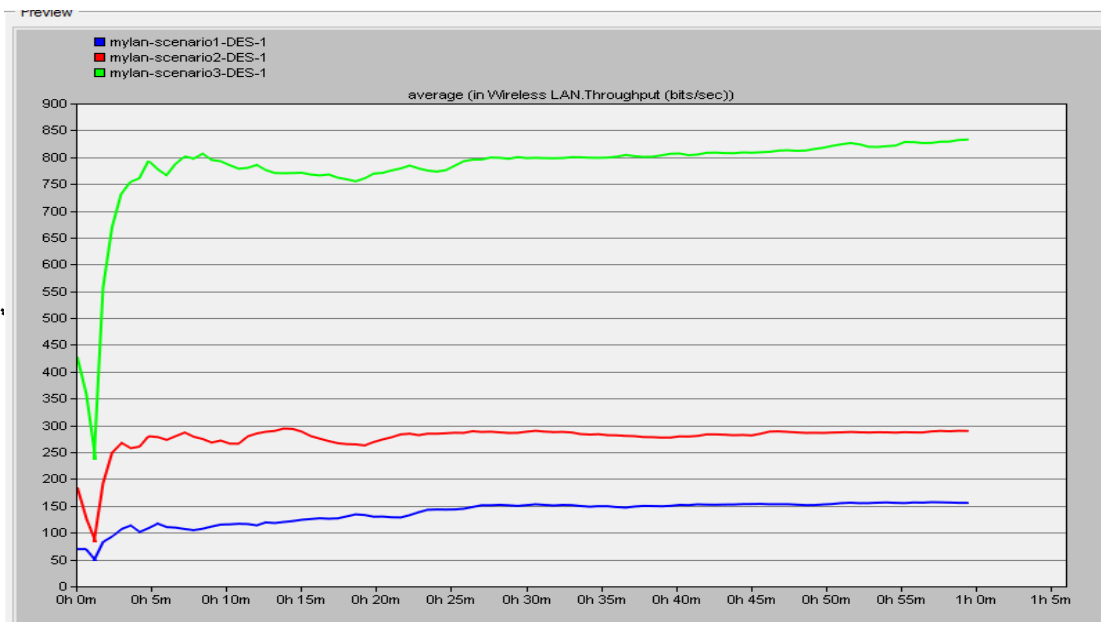
الشكل 13: التأخير الزمني في الشبكة

- الحمل في الشبكة يتغير بشكل متزايد ويفروق صغيرة بين السيناريو الأول والثاني ويكون بشكل كبير في السيناريو الثالث كما هو موضح في الشكل 14، والسبب هو ازدياد عدد العقد في كل سيناريو واختلاف معدلات النقل لكل عقدة حساسة، وكذلك اختلاف معدل النقل بين العقد المنسقة الموجودة على جسم المريض والموجودة في الغرفة والعقدة المجمعّة الموجودة في غرفة المراقبة.



الزمن
الشكل 14: الحمل في الشبكة

- إنتاجية الشبكة المتزايدة أيضاً والقريبة من الحمل كما يظهرها الشكل 15، ويعود ذلك إلى العقد التي ترسل في نفس اللحظة سواء كانت حساسة أو منسقة، والتي يختلف عددها ومعدلات النقل الخاصة بها في كل سيناريو، إضافة إلى التصادمات التي يمكن أن تحدث في الشبكة والزرع التي يتم إهمالها.



الزمن
الشكل 15: إنتاجية الشبكة

الاستنتاجات والتوصيات:**تُظهر نتائج المحاكاة ما يلي:**

- في السيناريوهات الثلاثة، كانت قيمة التأخير الزمني الحاصل في عقدة التنسيق هي الأعلى وذلك كونها تحتاج إلى استقبال عناوين العُقد المُرسلة للتعرف على الحساس وربطه مع بياناته. أما التأخير الزمني الكلي للشبكة فيتعلق بالزمن اللازم لاستقبال رزم البيانات وإعادة إرسالها للعقدة التالية ولذلك نلاحظ أنه قليل جداً في السيناريوهات الثلاثة. ويزداد هذا التأخير مع ازدياد عدد المرضى في الجناح، أيّ ازدياد عدد العُقد في الشبكة وهذا منطقي كون حجم البيانات المُرسلة والمستقبلة تضاعف أيضاً. وفي أسوأ حالات السيناريوهات المدروسة، لم يتجاوز التأخير 0.19 msec وهذا الرقم صغير جداً.
- أما بارامترتي الحمل والإنتاجية، فنلاحظ أنهما مرتبطان ببعضهما البعض وأنهما يتغيران بشكل متزايد وبفروق صغيرة بين السيناريو الأول والثاني ويكون الفرق كبيراً في السيناريو الثالث بسبب ازدياد عدد العقد في كل سيناريو واختلاف معدلات النقل لكل عقدة حساسة، وكذلك اختلاف معدل النقل بين العقد المنسقة الموجودة على جسم المريض والعقدة الموجودة في غرفة المراقبة التي تقوم بتجميع البيانات من كل العقد المنسقة للمرضى. يمكن الاعتماد على هذا التصميم وتطويره لاحقاً باتجاه استخدام هذه الشبكات بهدف مراقبة المرضى في غرف العناية المركزة، وفي المشافي أو حتى المراقبة عن بعد لما توفره من زمن تأخير متدنٍ ومن موثوقية عالية في تحسس ونقل البيانات الحيوية.

References:

- [1] Movassaghi, S.; Abolhasan, M.; Lipman, J.; Smith, D. and Jamalipour, A., "Wireless body area networks: a survey". IEEE Commun Surv Tutor vol.16, no.3, pp.1658–1686, 2014.
- [2] Sanati-Mehrizy R. et al., "Application of wireless sensor networks in health care system", 120th ASEE Annual Conference and Exposition, 2013.
- [3] Jeong, S.; Youn, C.H.; Shim, E.B.; Kim, M.; Cho, Y.M. and Peng, L., "An Integrated Healthcare System for Personalized Chronic Disease Care in Home–Hospital Environments", IEEE Conference on Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 16, pp. 572-585, 2012.
- [4] Alumona, T.L.; Idigo, V.E.; and Nnoli, K.P.;. "Remote Monitoring of Patients Health using Wireless Sensor Networks (WSNs) ". IPASJ International Journal of Electronics & Communication (IJEC) Volume 2, Issue 9, September 2014.
- [5] NEGRA, R.; JEMILI, I. and BELGHITH, A. "wireless Body Area Networks: Application and technologies." Journal of Elsevier B.V,Procedia Computer Science, vol83, pp.1274-1281,2016.
- [6] Chen, C.; Knoll, A.; Wichmann, HE. And Horsch ,A., "A review of three-layer wireless body sensor network systems in healthcare for continuous monitoring," J Mod Internet Things, vol. 2,no.3,pp. 24–34,2013.
- [7] Bhanumathi,V. and Sangeetha, C,P. "A Guide for the selection of routing protocols in WBAN for healthcare applications". journal of Human-Centric Computing and Information Sciences, pp.2-24 , 2017.

- [8] Humayun, A.; Niaz, M.; Umar, M. and Mujahid, M. "Impact of The Usage of Wireless Sensor Networks in Health Care Sector", International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.17 No.4, April 2017 pp. 102-105.
- [9] Hao, Y. and Foster, R. "Wireless Sensor Networks for Health-Monitoring Applications", Physiological Measurement, vol. 29, no. 11, November 2008.
- [10] Yang, Z.; Zhou, Q.; Lei, L. and Zheng, K. "An IoT-cloud Based Wearable ECG monitoring System for Smart Healthcare", Journal of Medical Systems vol. 40, no. 12, December 2016.
- [11] Wang, H.; Peng, D.; Wang, W. and Sharif, H. "Resource-aware secure ECG healthcare monitoring through body sensor networks", IEEE Wireless Communications 17(1):12 - 19 · March 2010
- [12] Yuvaradni, B.; Dhanashri, D.; Sonali, G. et al. "Health Monitoring Services Using Wireless Body Area Network ". Imperial Journal of Interdisciplinary Research. pp. 1648-1651, 2016.
- [13] Angelov, G.; Nikolakov, D.; Ruskova, I.; Gieva, E. and Spasova, M. "Healthcare Sensing and Monitoring", in Enhanced Living Environments pp 226-262, Springer, January 2019.
- [14] Wahane, V. and Ingole, P. V. "A Survey: Wireless Body Area Network for Health Monitoring", American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402. Volume 31, No 1, pp 287-300. 2017.
- [15] Hassan, H.; Hadi, N. and Taqi, A. " Implementation of Wireless Body Area Network Based Patient Monitoring System". Journal of Information Engineering and Applications, 8(4): 51-64, 2018.
- [16] Arampatzis, T.; Lygeros, J. and Manesis, S. "A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks," in Intelligent Control,. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation, 2005, pp. 719-724.
- [17] Milenković, A.; Otto, C. and Jovanov, E. "Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation," Computer communications, vol. 29, pp. 2521-2533, 2006.
- [18] Malan, D.; Thaddeus, F.-J.; Matt, W. and Steve M. "CodeBlue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care". Paper presented at the International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, April, London, UK. 2004.
- [19] <https://www.artificialretina.energy.gov/>
- [20] Mitchell Waldrop, M. "Polymers promise a more flexible artificial retina", knowable magazine, 2019.
<https://www.knowablemagazine.org/article/technology/2019/artificial-retina-implants>
- [21] Akyildiz, I. and Vuran, M. " Wireless Sensor Networks ". John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom. 2010.
- [22] Wood, A.; Virone, G.; Doan, T.; Cao, Q.; Selavo, L.; Wu, Y.; Fang, L.; He, Z.; Lin, S. and Stankovic, J. "ALARM-NET: Wireless Sensor Networks for Assisted-Living and Residential Monitoring". TechnicalReportCS-2006-13. .virginia University, 2006.
- [23] Niranjana, D.; Pandurang, V. et al. "A IOT-based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network (BSN)". International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. November 2016.

- [24] Benny, P.L. Lo, Thiemjarus, S. et al. "*Body Sensor Network – A Wireless Sensor Platform For Pervasive Healthcare Monitoring*"; in Proceedings of Lo2005 BodySn; 2005.
- [25] Madhyan, E. and Kadam, M. "*A Unique Health Care Monitoring System Using Sensors and ZigBee Technology*". International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering; vol. 4, Issue 6, pp: 501-509. 2014.
- [26] Mankar, J.; Bhute, J. et al. "*ARM7 Based Patient's Health Monitoring System*". International Journal of Research in Advent Technology. pp:113-120, January 2014.
- [27] Jamal Khalifeh, "*Improving the performance of wireless medical sensors networks monitoring the patient in the health care wards*". Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol . (37) No. (2), pp: 212-228, 2015.
- [28] Habib, C.; Makhoul, A.; Darazi, R. and Couturier, R. "*Health risk assessment and decision-making for patient monitoring and decision-support using Wireless Body Sensor Networks*". Information Fusion, ELSEVIER, Volume 47, pp: 10-22. May 2019.
- [29] Selvaraj, R. and Madhav, V. (2019). "*Collaborative Remote Patient Monitoring System Using IEEE 802.15.4 Wireless Body Area Networks*". International Journal of Computer and Communication Engineering. Vol.8, No.2, pp:60-72. 2019.