

## The Impact of Mobility Models on the Consumption of Network Resources in the Internet of Things (IoT)

*Rasha J. Al-Jarah*  
rjhaljarah@gmail.com

*Basim M. Mahmood*  
bmahmood@uomosul.edu.iq

Department of Computer Science  
College of Computer Sciences and Mathematics  
University of Mosul, Mosul, Iraq

Received on: 19/01/2020

Accepted on: 02/02/2020

### ABSTRACT

Nowadays, the field of Internet of Things (IoT) has become a new trend and one of the most attractive areas of research. It has a wide range of applications; starting from smart devices to developing smart cities. The main issue in this kind of applications is the limitation in network resources (e.g., energy, memory, connectivity, etc.). Most of the works in the literature deal with this issue in a traditional way. For instance, developing routing protocols that find the optimal path for data forwarding. This paper looks to this issue from a different angle. In this work, we aim at testing different mobility patterns and then investigate their impact of the consumption of network resources under particular distributions and data routing protocols. The aspect we aim to investigate and measure is the amount of data exchanged, which in turn affects the power and the memory consumption of a network. We also measure two more aspects; performance stability, and data coverage area. The results show that mobility models play a significant role in the overall network performance.

**Keywords:** Complex Networks, Human Mobility Model, Objects Distribution, Routing Protocols.

تأثير أنموذجات الحركة في استهلاك مصادر الشبكة في إنترنت الأشياء

رشا جمال الجراح      باسم محمد محمود

قسم علوم الحاسوب، كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل، الموصل، العراق

تاريخ قبول البحث: ٢٠٢٠/٠٢/٠٢

تاريخ استلام البحث: ٢٠٢٠/٠١/١٩

### المخلص

أصبح إنترنت الأشياء من التوجهات البحثية الحديثة وأحد أكثر التوجهات جذباً للباحثين في الوقت الحالي. ولتطبيقات هذا التوجه مدى واسع جداً يتراوح بين تصميم المنازل الذكية وصولاً إلى تصميم المدن الذكية. فضلاً عن المشاكل التي يعاني منها مصممو تطبيقات إنترنت الأشياء وهي المحددات في مصادر الشبكة مثل مصادر الطاقة، والخزن، والتواصل بين أشياء الشبكة. في الحقيقة، هناك العديد من العوامل التي تؤثر على استهلاك مصادر الشبكة منها نماذج الحركة المستخدمة، وطريقة توزيع الأشياء في البيئة التي يتم العمل عليها فضلاً عن بروتوكولات توجيه البيانات.

في هذا البحث اقترح إنشاء بيئة مدينة ذكية افتراضية تم فيها توزيع متحسسات ثابتة ومتحركة بطريقة توزيع معينة، مع استخدام نماذج حركة معينة وطرق لنقل وتبادل البيانات خلال المدينة الافتراضية. إذ قمنا بإجراء

إختبارات عديدة لنماذج حركة مختلفة والتي من ضمنها: نموذج التنقل الفردي (نموذج حركة الانسان) ونموذج الاتجاهات مشتركة العلاقة ونموذج كاوجي، والتقصي عن تأثيرها في استهلاك مصادر الشبكة باستعمال توزيع معين مثل التوزيع الطبيعي والتوزيع الموحد وتوزيع الذيل الطويل، وبروتوكول معين لتوجيه البيانات مثل بروتوكول ارسال ثم انتظار والبروتوكول الوبائي والتدفق الاحتمالي. كما تم التقصي عن استهلاك مصادر معينة مثل مصادر الطاقة، وكميات استهلاك البيانات. وكل تجربة هي عبارة عن مزيج من نموذج حركة وطريقة توزيع للأشياء وبروتوكول توجيه للبيانات، وفي النهاية تم مقارنة جميع التجارب المقترحة مع بعضها بعضاً والخروج بإستنتاجات تعيد مجتمع الباحثين والمصممين في التقليل من استهلاك مصادر الشبكة.

**الكلمات المفتاحية:** نماذج الحركة، بروتوكولات التوجيه، نموذج حركة الانسان، الشبكات المعقدة.

## 1. المقدمة

يتكون إنترنت الأشياء (IoT) من مجموعة من الكائنات أو الأجهزة التي لها القابلية على الارتباط بالشبكة العنكبوتية. هذه الأشياء اما ثابتة؛ والتي تكون ذات موقع ثابت في الشبكة مثل متحسسات الحرائق. او متحركة؛ بمعنى ليس لها موقع ثابت وتكون متحركة مثل: أجهزة تحديد الموقع المثبتة في السيارات أو عربات الإسعاف وغيرها.

ويعدّ اقتران الأجهزة المستشعرة بالبشر أمراً مثيراً للاهتمام نظراً لحقيقة أن العقد ستتحرك نتيجة للحركة البشرية. وبالنظر إلى ذلك، فمن المحتمل أن يحمل الجميع جهاز استشعار في شكل هاتف ذكي أو جهاز لوحي [1]. ويعدّ عمل جاومينك سونك من أكثر نماذج التنقل دقة التي تصف الحركة البشرية، والذي اقترح نموذجاً للتنقل الفردي [2] ويمكن دمج هذا النموذج في شبكات المتحسسات اللاسلكية المتحركة لأغراض المحاكاة والتقييم [3].

وفي هذا البحث سوف نقوم بإجراء تجارب حول تأثير نماذج الحركة وطرائق توزيع الأشياء في استهلاك مصادر شبكة إنترنت الأشياء. وإن ما سيتم قياسه هو عدد الرسائل (Sending and Receiving Messages) التي تُستهلك في ذاكرة الأجهزة الأشياء (Memory Consumption)، والتأخير التي تستهلكه الشبكة في نشر حدث معين (Average Delay)، والمسافة التي تصل إليها بيانات الشبكة (Age of Information) والمساحة التي تُغطى بالحدث في الشبكة (Coverage Area). في تصميم التجارب اعتمد على نماذج حركة عديدة وطرائق لتوزيع الأشياء وبروتوكولات لنشر البيانات. إذ ان الغرض من هذا التنوع هو إجراء تجارب وقياسات متنوعة التي تؤدي بالنهاية إلى الخروج بمقترحات وتوصيات في تصميم نماذج للمدن الذكية.

## 2. الهدف من البحث

الأهداف الرئيسية لهذا البحث يمكن أن تكون على النحو التالي:

- دراسة ومقارنة نماذج الحركة التي استُعملت مع العقد المتحركة كأحد العوامل المهمة في تحديد استهلاك مصادر الشبكة مع طرق معيارية في هذا المجال.
- دراسة وتأثير نماذج الحركة وطرائق توجيه البيانات على استهلاك مصادر الشبكة.

## 3. الأعمال السابقة

إن الأعمال والبحوث في مجال شبكات الاستشعار تدور حول التغطية والبروتوكولات والخوارزميات لنشر أجهزة الاستشعار على النحو الأمثل [4,5]. ويتمثل الاختلاف الرئيس بين هذه الأعمال في كيفية حساب المواضع

المطلوبة لأجهزة الاستشعار وعادةً ما يُستغل التنقل فقط لتحقيق تكوين مثالي ثابت في بيئة استشعار موسعة، بدلاً من بيئة تستغل ديناميكيات حركات المستشعرات كميزة مضافة للبنية التحتية لأجهزة الاستشعار [6].

دراسة حديثة قام بها دي ميلو وآخرون [7]، اقترحت استراتيجية تسمى RECAST لتحليل تفاعلات الأفراد في الشبكة. وتصنف هذه الإستراتيجية تفاعلات الأفراد إلى أربع فئات: الأصدقاء، والمعارف، والعلاقات العابرة، والعشوائية، ثم شاركوا هذه الفئات في تصميم طريقة إعادة توجيه للبيانات وأظهرت النتائج التي توصلوا إليها أن الأصدقاء كانوا الأكثر استخداماً وفعالية لتوصيل الرسائل، في حين كانت الفئة العشوائية الأقل استخداماً. ويمكن استخدام مركزية العقد في شبكات الاستشعار اللاسلكية (WSNs) Wireless Sensor Networks، إذ قام منيبا وآخرون [8] باقتراح طريقة إعادة توجيه جديدة تسمى People-Rank، حيث يعتمد تصميمهم على خوارزمية تصنيف الصفحات وميزة مركزية العقد في الشبكة. إذ ترتب العقد وفقاً لمعلوماتهم الاجتماعية؛ وتُعطى العقدة وزناً أكبر إذا كانت مرتبطة اجتماعياً بالعقد المهمة للشبكة. إذ أظهرت النتائج أن أسلوب تصنيف الأشخاص يتفوق على طريقة Epidemic من حيث عدد الرسائل المتبادلة ووقت التسليم.

كذلك استُعملت نماذج التنقل البشرية Human Mobility Models لتحسين أداء الشبكات الديناميكية [9]. وقد أوضح توماسيني في [10] وكذلك في [3]، بأن شبكات الاستشعار اللاسلكية مع أنماط الحركة الاجتماعية يمكن أن تحسن أداء شبكات الاستشعار من حيث تغطية العقد، وكذلك تسليم البيانات.

لقد تم التركيز في بحثنا على معدل تسليم البيانات ومساحة التغطية ومدى استقرارية كل طريقة على اعتبارهم عوامل رئيسية في استهلاك الطاقة ضمن الشبكة. وبشكل أكثر تحديداً حاولنا تحسين عملية إعادة توجيه البيانات إلى أجهزة استشعار أخرى في الشبكة، ونموذج حركة الإنسان المستخدم في هذا البحث المقترح والذي اقترحه جاومينك سونك يعدّ اليوم واحداً من النماذج الأكثر دقة لوصف حركة الإنسان [2].

#### 4. نماذج الحركة Mobility Models

عند النظر في السياقات المذكورة آنفاً، نلاحظ أن حركة أجهزة الاستشعار أكثر تعقيداً، ولكن يمكن تفسيرها بما يسمّى نموذج التنقل Mobility Model الذي يصف حركة العقد المتنقلة Mobile Nodes وكيف أن موقعها واتجاهها وسرعتها يتغير مع مرور الوقت [9]. وتوجد أنواع عديدة من نماذج الحركة منها:

##### 1-4 نموذج حركة الإنسان Human Mobility Model

هو من أهم أنواع نماذج الحركة لأنه يُوصف حركة الإنسان ويسمى أيضاً نموذج التنقل الفردي Individual Mobility Model. بما أن الهاتف المحمول صار جهازاً مستشعراً لما قد يحمله من مستشعرات، وبما أن هذه الأجهزة محمولة من قبل الإنسان، لذلك توجب دراسة حركة الإنسان ووصفها. لقد تم إقتراح هذا النموذج من قبل Song سنة 2010 والذي يعتمد على آليتين إجتماعيتين أساسيتين توصف حركة الإنسان وهما [2]:

- **الإستكشاف Exploration**: إن ميل الأفراد لإستكشاف مواقع جديدة ينخفض مع مرور الوقت.
- **الرجوع المفضل Preferential Return**: يميل الإنسان إلى العودة إلى المواقع التي تم زيارتها سابقاً بشكل متكرر (مثل الرجوع إلى المنزل أو موقع العمل).

وبسبب توفر بيانات احداثيات المواقع للبشر، ركزت الدراسات الحديثة على اقتراح نماذج تنقل تعكس حركة الانسان. إذ درّس هذه الحركة سونك وآخرون [11] الذين استكشفوا حدود القدرة على التنبؤ في الديناميكيات البشرية؛ ووجدوا إمكانية تنبؤ بنسبة 93% في تنقلات المستخدمين وأظهروا أنها مستقلة عن المسافة التي يغطيها

المستخدمون بشكل منتظم حتى لو كانت أنماط السفر تختلف اختلافاً كبيراً وهذه النتائج مهمة بشكل خاص لأنها تخبرنا أن الحركات البشرية هي ليست عشوائية وإنما ممكن أن نقول بأنها حركات عشوائية منتظمة ومن ثمّ يمكن إستغلال قابلية التنبؤ لزيادة أداء وكفاءة بروتوكولات شبكة المُستشعرات (مثل توجيه البيانات).

#### 2-4 نموذج الاتجاهات مشتركة العلاقة Correlated Directions Model

تصف نماذج التنقل بصورة عامة الموقع والسرعة والحالات الديناميكية الأخرى للأجسام المتحركة. في هذا النوع من نموذج الحركة نركز إهتمامنا على تنقل المركبات في شوارع المدينة. إذ أصبح من الواضح مدى أهمية نموذج التنقل الخاص بالمركبات في تصميم الشبكات المخصصة للهاتف المحمول (MANETs) Mobile Ad hoc Networks ، لأنه يحدد أنماط التنقل مثل الأوقات بين إتصالات المركبات مع بعضها. هذه الأوقات لها تأثير كبير على تغطية الشبكة وخصائص تأخير النقل [12,13].

نموذج التنقل Correlated Directions يعتمد بمبدئه على سلاسل ماركوف المستمرة Continuous-time Markov chains، إذ يتم تحويل شوارع المدينة إلى شبكة، وتقابل كل نقطة على الشبكة تقاطع الشوارع. لذلك، فإن السيارة التي تتحرك في المدينة تنتمي إلى نقطة واحدة في الشبكة في وقت واحد وتنتقل إلى نقاط الشبكة الأخرى في أوقات عشوائية. يخضع الوقت الذي تتخذ فيه المركبة خطواتها لعملية Poisson Distribution ، مما يعني أنها تنتقل من تقاطع واحد إلى تقاطع مجاور بسرعة تم إختيارها عشوائياً. حيث يختلف احتمال تحرك مركبة بين عقد الشبكة في نفس الإتجاه مثل خطواتها السابقة عن احتمال التحرك في الإتجاه المعاكس. وبالتالي، فإن هذا النموذج من الحركة القائم على المشي العشوائي المترابط قادر على إلقاط إتجاه الحركة.

#### 3-4 نموذج كاوجي Cauchy Flight Model

يعدّ هذا النموذج من نماذج الحركة العشوائية التي تعتمد بمفهومها على نموذج حركة Brownian العشوائية. إقتُرح هذا النموذج سنة ١٩٥٥ من قبل العالم Bochner، إذ تتميز توزيعات Cauchy التي تعد جزءاً من فئة التوزيعات الثقيلة الذيل، بتمديدات طويلة ذات تباين صغير إلى حد ما، تتخللها تباينات كبيرة أكبر بعدة مرات مما يمكن توقعه من التوزيع الطبيعي [14] كما إنه واحد من التوزيعات القليلة المستقرة والذي يمتلك دالة كثافة الإحتمال التي يمكن التعبير عنها تحليلياً.

#### 5. محاكي المدينة الذكية Smart City Simulator

لمحاكاة واقع المدينة الذكية وتنفيذ تجارب هذا البحث نحتاج إلى محاكي يُعتمد عليه لتنفيذ التجارب. وقد اعتمد على أحد المحاكيات المستخدمة لهذا الغرض الذي يسمح بإجراء تجارب هذا البحث مع التنوع في تغيير إعداداته. إن المحاكي الذي اعتمد عليه في هذا البحث يسمّى بالشبكة الاجتماعية للمستشعرات (Social (SNoS) (Network of Sensors)، وهو محاكي مصمم للأغراض البحثية من قبل الباحثين في [15]؛ إذ يمكن للباحثين تنفيذ تجاربهم واستحصالي نتائج موثوقة كون أن النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذا المحاكي تم نشرها في مجلات عالمية رصينة مما يؤكد موثوقية هذا المحاكي. وإن ما يميز هذا المحاكي أنه يجمع الكثير من مميزات المحاكيات المتوفرة بالإضافة الى امكانيات جديدة غير متوفرة في غيره. إذ ممكن اختيار طرائق توزيع مختلفة بالنسبة للمتحسسات الثابتة والمتحركة، والتحكم بعدد المتحسسات الثابتة والمتحركة ايضاً. واختيار نماذج حركة مختلفة، وكذلك من الممكن اختيار طرائق عديدة لنقل وتوجيه البيانات بين مستشعر واخر، والعديد من الامكانيات والاعدادات التي يتمتع فيها هذا المحاكي. كما أنه أحد المحاكيات المعتمدة في شركة NetLogo، وهو مفتوح

المصدر، أي يمكن إجراء التغييرات البرمجية عليه على وفق الحاجة ولقد تمت برمجة هذا المحاكي باستخدام لغة NetLogo MultiAgent Modelling Programming المتقدمة [16]. وقد صُمم لتنفيذ تجارب تتعلق بالتقنيات المستخدمة في المدن الذكية (Smart Cities)، وإنترنت الأشياء (IoT). إذ يمكن تطبيق توزيع سكاني معين على المدينة التي يفترضها المحاكي وإجراء تجارب تخص بث وتوزيع البيانات، ومناطق تغطيتها، متابعة الحركة السكانية في مناطق المدينة، وتعقب أشخاص معينين داخل المدينة، ومدى انتشار معلومة معينة، ومراقبة مناطق معينة، واستشعار أحداث معينة، ومتابعة مركبات معينة، وتقصي أنماط الحركة، وتقصي مناطق التغطية للمستشعرات، ومتابعة أمنية البيانات، ومتابعة مسارات البيانات، ومتابعة استهلاك الطاقة، ومتابعة المساحات التخزينية في الأجهزة المحمولة، وهناك الكثير من القابليات التي يتمتع بها هذا المحاكي التي لا تتوفر في المحاكيات المعروفة.

يتمثل هذا المحاكي على شكل مدينة ذكية افتراضية ذات أبعاد (10 كم × 10 كم) [17]، مقسمة إلى blocks تمثل المباني والمساحات التي تعد محاكاة للمدن الاعتيادية بتصميمها، ويتمتع هذا المحاكي بقابلية العرض الثنائية والثلاثية الأبعاد، ويمكن أيضاً تحديد طريقة التواصل اللاسلكي ومدى الاتصال الذي يصل إلى 50 متر (WiFi). ويتميز هذا المحاكي بقابليته على إجراء إعدادات لتجارب المدن الذكية كما يأتي:

- توزيع النسبة السكانية حسب ما تتطلبه التجربة المراد تطبيقها.
- تحديد نمط التوزيع السكاني، إذ يوفر المحاكي أنماط مختلفة من التوزيع حسب طبيعة التوزيع السكاني للمدينة المراد محاكاتها.
- توزيع متحسسات استشعار ثابتة ومتحركة في المدينة (Static and Dynamic Sensors). ويمكن أيضاً توزيعها حسب التوزيعات المذكورة في النقطة السابقة.
- اختيار طرائق توجيه البيانات إذ يوفر المحاكي طرائق عديدة للنقل (Routing Protocols) مثل Epidemic، Probabilistic، PROPHET، Spray and Wait وغيرها من طرائق نقل وبث البيانات.
- يمكن التحكم بمجال الاتصال لكل متحسس في المدينة (communication range). ويمكن استخدام مبادئ النقل اللاسلكية المعروفة مثل (WiFi or Bluetooth).
- فيما يخص حركة السكان وحركة كل فرد فإن المحاكي يوفر نماذج حركة خاصة بحركة الإنسان والمعتمدة عالمياً في هذا نوع من التجارب مثل نموذج التنقل الفردي (Individual Mobility Model) الذي يعدّ من أحدث نماذج الحركة وأشهرها المعتمدة لمحاكاة حركة الإنسان.
- فيما يخص المتحسسات الثابتة، يمكن للمحاكي اختيار Topology معينة على وفق ما يحتاج إليه الباحث في تجربته.
- فيما يخص المتحسسات المتحركة، يوفر المحاكي مجموعة من نماذج الحركة التي تحاكي بتصميمها نماذج حركة الأشياء.

بناءً على ما سبق يمكن باستخدام هذا المحاكي تصميم وتخطيط المدن الذكية، وتصميم خوارزميات بث البيانات، وتصميم تقنيات تخص إنترنت الأشياء، ومجال الإعلانات الألكترونية، والتسويق الإلكتروني، واستهلاك الطاقة، وهناك الكثير من التطبيقات التي يمكن محاكاتها في هذا المحاكي ويمكن أيضاً لهذا المحاكي أن يستخدم أيضاً في إجراء تجارب في مجالات تخصصية عديدة منها مجال الزراعة، واستهلاك الطاقة، والمجال الأمني،

والاتصالات، والشبكات، والتقنيات الذكية، وتوجيه البيانات، وأنظمة المراقبة، وأنظمة مراقبة توزيع الأحمال على الخوادم وغيرها الكثير.

## 6. تصميم التجارب Experiments Design

في هذا البحث، صُممت مجموعة كبيرة من التجارب لغرض تنفيذها وتحليل نتائجها؛ وتتميز تجارب هذا البحث بالتنوع في الإعدادات والخيارات التي تضفي على البحث طابعاً عملياً مميزاً وتثريه بالنتائج وتعززها من الناحية العلمية. وغاية هذا البحث هي تقصي تأثير نماذج الحركة على استهلاك مصادر الشبكة وتحليلها في المدن الذكية، لذلك فإن أساس التجارب هي نماذج الحركة المستخدمة. ولتعزيز التجارب ورّعت الخيارات المستخدمة في كل تجربة لتشمل خيارات متنوعة بتوزيع العقد وأيضاً خوارزميات متنوعة لأغراض نقل البيانات بين العقد. إن عدد التجارب التي سيتم تنفيذها هو 270 تجربة كل واحدة منها تمثل معدل تنفيذ 10 تجارب تحت الإعدادات نفسها. وتجدر الإشارة إلى أن جميع التجارب تنفذ في فترة زمنية محددة وهي  $tick=10000$ . ويكون عن طريق وضع شرط للتوقف الذي عنده يتوقف تنفيذ التجربة. وتقسّم التجارب بشكل أساسي إلى ثلاثة أقسام اعتماداً على عدد نماذج الحركة التي ضمنت في التجارب وهي ثلاثة نماذج حركة، لذلك صُممت جداول لتلخيص هذه التجارب وهي على النحو الآتي:

- **المجموعة الأولى:** تتكون من 90 تجربة تبدأ بالترميز EXP.01 إلى EXP.90. يتم في هذه المجموعة الاعتماد بشكل أساسي على نموذج الحركة Cauchy Flight مع التوزيع البنيوي Lattice Distribution الذي تم استعماله في توزيع المتحسسات الثابتة، وأما تنفيذ التجربة فقد صمّم ليتوقف عند الوقت  $tick=10000$ ، كما وتم التنوع في طرائق توزيع المتحسسات المتحركة ايضاً، والجدول (1) يتضمن جميع الإعدادات الأخرى للمجموعة الأولى من التجارب ويظهر من الجدول أنّ هناك تنوعاً في عدد العقد المتحركة وكثافة التوزيع للعقد، وطريقة توزيع العقد المتحركة، وعدد العقد الثابتة وأخيراً نوع بروتوكول توجيه البيانات كما موصّح في الجدول.

الجدول (1) المجموعة الأولى من التجارب

#	EXP. N.	Density	# of mobile sensor	mobile sensor distribution	# of static sensor	Routing Protocol
1	EXP. 01-15	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300,400,500	Power-law	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
2	EXP. 16-30	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300,400,500	Power-law	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
3	EXP. 31-45	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300,400,500	Uniform	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
4	EXP. 46-60	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300,400,500	Uniform	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
5	EXP. 61-75	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300,400,500	Normal	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
6	EXP. 76-90	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300,400,500	Normal	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding

• **المجموعة الثانية:** تتكون من 90 تجربة تبدأ بالترميز EXP.91 إلى EXP.180. وفي هذه المجموعة اعتمد بشكل أساسي على نموذج الحركة Correlated Directions مع التوزيع البنيوي Lattice Distribution في توزيع المتحسسات الثابتة، وأما تنفيذ التجربة فقد صممت ليتوقف عند الوقت tick=10000. والجدول (2) يتضمن جميع الإعدادات الأخرى للمجموعة الثانية من التجارب ويظهر من الجدول أن هناك تنوعاً في عدد العقد المتحركة وكثافة التوزيع للعقد، وطريقة توزيع العقد المتحركة، وعدد العقد الثابتة وأخيراً نوع بروتوكول توجيه البيانات وكما موضح في الجدول.

• **المجموعة الثالثة:** أيضاً تتكون من 90 تجربة أيضاً تبدأ بالترميز EXP.181 إلى EXP.270. وفي هذه المجموعة اعتمد بشكل أساسي على نموذج الحركة Human Mobility Model وهو نموذج يحاكي حركة الإنسان. وقد استعمل التوزيع البنيوي Lattice Distribution في توزيع المتحسسات الثابتة. وأما تنفيذ التجربة فقد صمم ليتوقف بالوقت tick=10000. والجدول (3) يتضمن جميع الإعدادات الأخرى للمجموعة الأولى من التجارب ويظهر من الجدول أن هناك تنوعاً في عدد العقد المتحركة وكثافة التوزيع للعقد، وطريقة توزيع العقد المتحركة، وعدد العقد الثابتة وأخيراً نوع بروتوكول توجيه البيانات كما موضح في الجدول.

الجدول (2) المجموعة الثانية من التجارب

#	EXP. NO.	Density	No. of mobile sensor	mobile sensor distribution	No. of static sensor	Routing Protocol
1	EXP. 91-105	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Power-law	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
2	EXP. 106-120	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Power-law	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
3	EXP. 121-135	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Uniform	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
4	EXP. 136-150	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Uniform	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
5	EXP. 151-165	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Normal	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
6	EXP. 166-180	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Normal	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding

الجدول (3) المجموعة الثالثة من التجارب

#	EXP. NO.	Density	No. of mobile sensor	mobile sensor distribution	No. of static sensor	Routing Protocol
1	EXP. 181-195	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Power-law	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
2	EXP. 196-210	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Power-law	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
3	EXP. 211-235	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Uniform	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
4	EXP. 236-250	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Uniform	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
5	EXP. 251-265	1.96, 2.94, 3.92, 4.9, 5.88	100, 200, 300, 400,500	Normal	100	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding
6	EXP. 266-270	1.46, 2.44, 3.42, 4.4,5.38	100, 200, 300, 400,500	Normal	50	Epidemic, Spray & Wait, Probabilistic Flooding

## 7. النتائج

سنحلل النتائج التي حصلنا عليها من التجارب التي صُممت وُشّرت في القسم السابق، وطريقة عرض النتائج وتحليلها في هذا البحث تستند بالدرجة الأساس على نموذج الحركة المستخدم، كما تعتمد بالدرجة الثانية على طريقة توجيه البيانات في الشبكة.

### 1-7 استهلاك مصادر الشبكة Network Resources Consumption

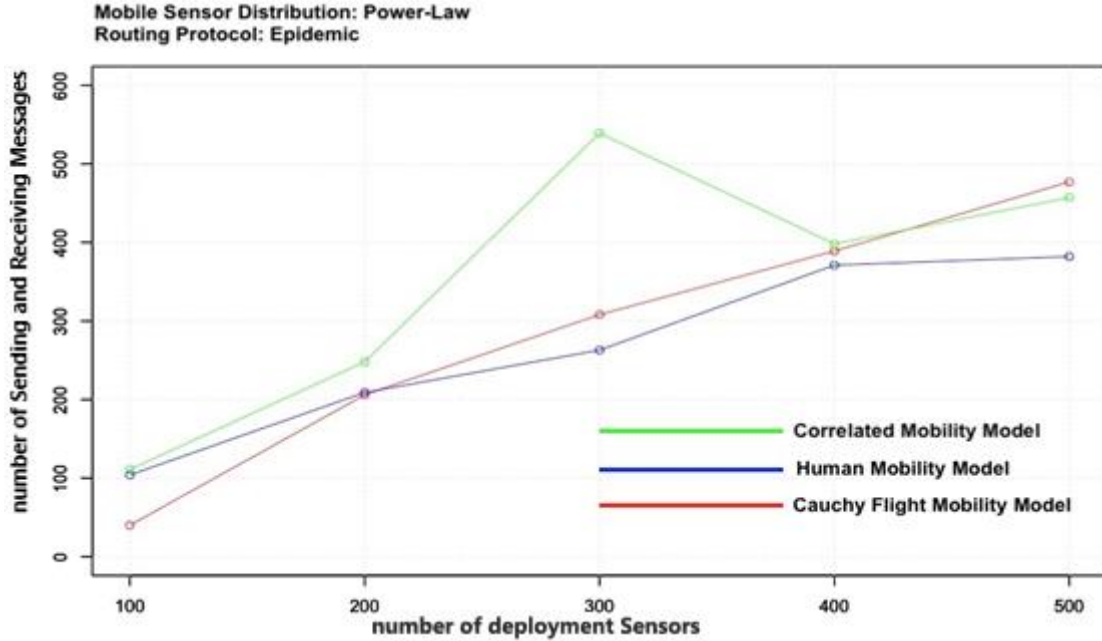
لغرض التقليل من الهدر للموارد والجهد في المدن الذكية، يجب ان يتم الحفاظ على الاداء العام لاستهلاك مصادر الشبكة من ناحية استهلاك الذاكرة، وكمية البيانات المتبادلة، واستهلاك مصادر الطاقة والتي تعد من اهم التحديات التي يواجهها مطورو المدن الذكية، والتي سيتم توضيحها الان:

### 1-1-7 كمية البيانات المتبادلة Amount of Data Exchanged

يعدّ هذا الجزء من أهم أجزاء البحث، لأنّه يعكس سلوك استهلاك مصادر الشبكة. عملياً، إن كمية البيانات المرسله والمستلمة تعبر عن استهلاك مجموعة من المصادر في وقت واحد، إذ عند قيام عقدة معينة بإرسال أو استلام رسالة معينة سوف يتم استهلاك مصادر الطاقة والذاكرة لتلك العقدة. فضلا عن استهلاك مسار لنقل البيانات؛ لذلك من الضروري فهم وإدراك عمليات تبادل البيانات بين عقد الشبكة. إذ ان الشكل (1) يعكس سلوك نماذج الحركة المستخدمة Correlated model و Human mobility model و Cauchy flight باستخدام توزيع Power-Law للعقد المتحركة مع طريقة من نوع Epidemic لنقل البيانات، وفي هذا الشكل يمثل المحور X عدد العقد المستخدمة وقد استعمل عدد متغير؛ لغرض ملاحظة التغييرات التي تحصل في حال زيادة كمية

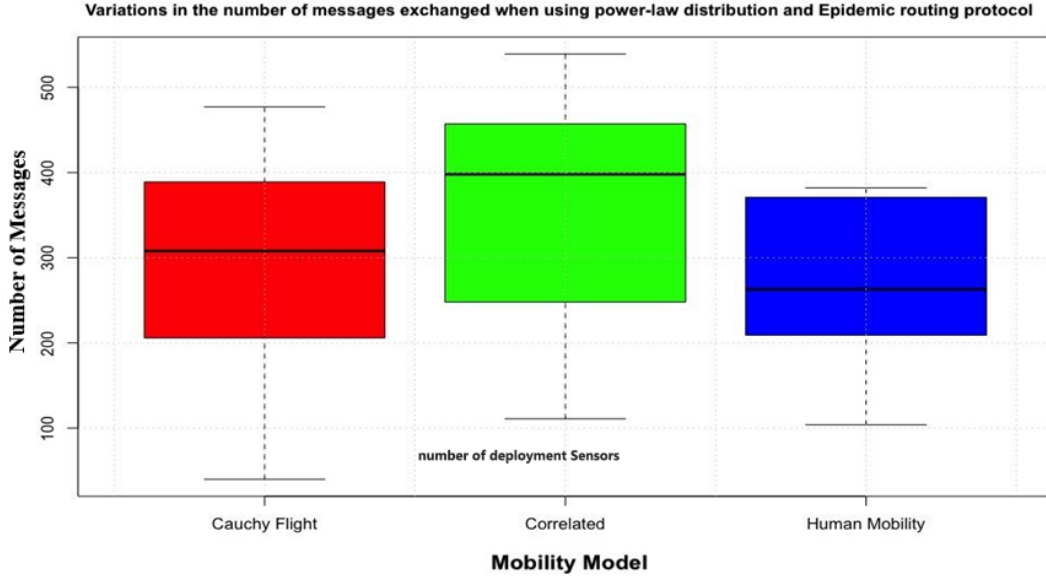


العقد. فقد استعمل (100،200،300،400،500) عقدة في جميع التجارب. وأمّا المحور Y فيتضمن كمية البيانات المتبادلة التي تمثل بدورها عدد الرسائل المتبادلة، ونلاحظ في هذا الشكل إن كمية البيانات المتبادلة باستخدام نموذج حركة الإنسان تصل لأقل حد لها مقارنة بالأنموذجين الآخرين. ونتيجة هذا التفوق لنموذج حركة الإنسان تعدّ عاملاً مهماً في تحديد استهلاك مصادر الشبكة أي أن اعتماد نموذج حركة الإنسان يجب إن يؤخذ بالحسبان من قبل مطوري المدن الذكية.



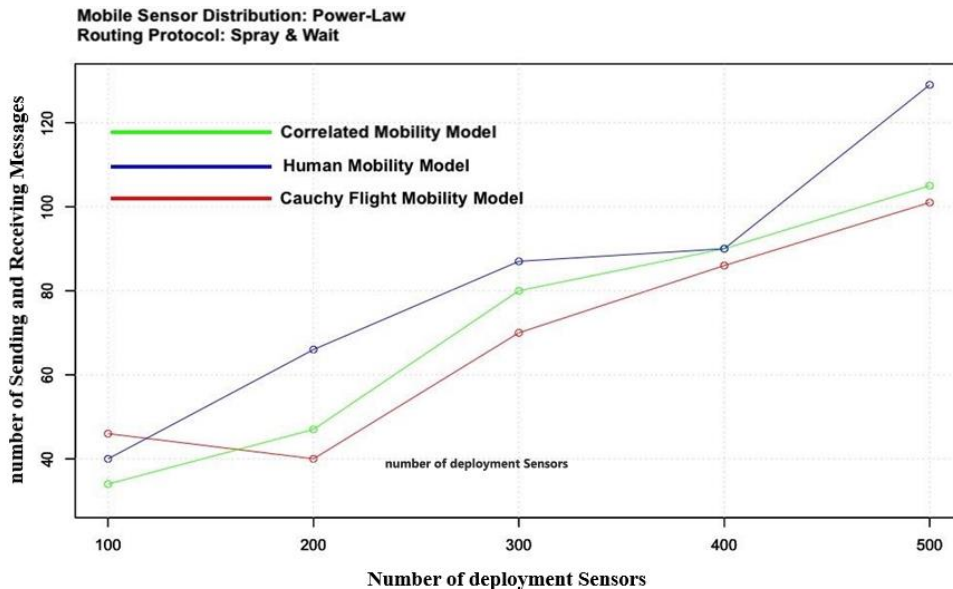
الشكل (1) كمية البيانات المستهلكة عند استخدام توزيع Power-Law مع طريقة Epidemic في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.

ولغرض تفحص النتائج بشكل أدق، تم التقصي عن التغيرات التي حصلت في تنفيذ التجارب، ولهذا السبب استعملنا طريقة إحصائية رسومية، تمكنا من النظر إلى البيانات من زاوية أخرى. إن هذا المخطط يعتبر من الطرق الإحصائية للكشف عن مدى استقرار سلوك معين وفي هذا البحث تم استخدامه لبيان استقرار النماذج المستخدمة وبالتالي التعرف على مدى وثوقية أداء النماذج. والشكل (2) يوضح التغيرات التي تحصل في كمية البيانات المتبادلة عند تنوع نماذج الحركة. في هذا الرسم يمثل المحور X نماذج الحركة المستخدمة وأمّا المحور Y فيمثل كمية البيانات المتبادلة. ونلاحظ أنّ استقرار نموذج حركة الإنسان يفوق بمقدار قليل استقرار النماذج الآخرين. بمعنى آخر، إن تضمين نموذج حركة الإنسان يعطي نتائج تفوق في استقرار النماذج الأخرى المستخدمة.

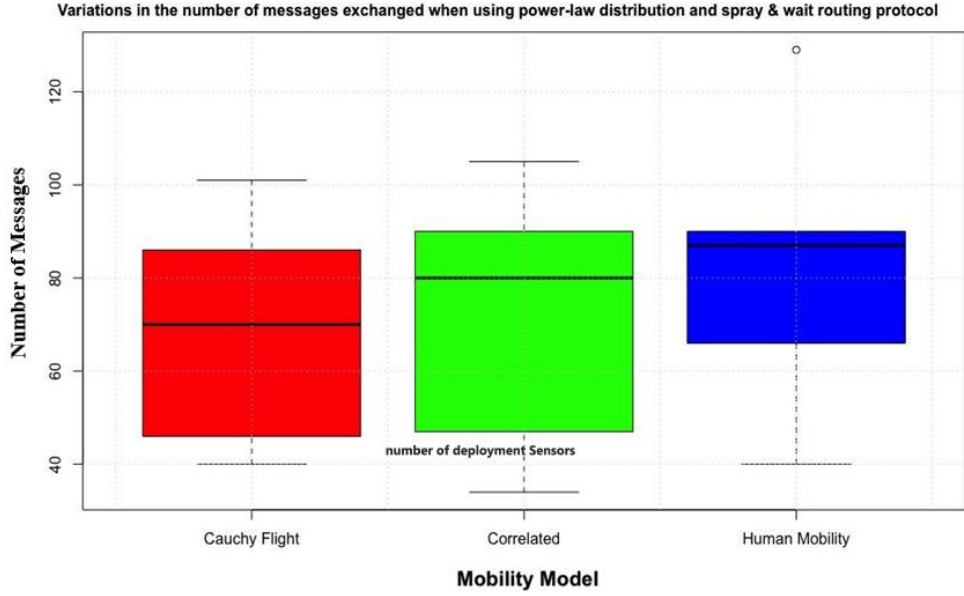


الشكل (2) قياس استقرارية تبادل البيانات في نماذج الحركة المستخدمة التي اعتمد طريقة Epidemic في نقل البيانات

إن جميع ما ذكر من تحليل هو خاص بالتجارب التي أجريت باستخدام طريقة Epidemic لنقل البيانات. والشكل (3) يعكس تنفيذ التجارب باستخدام خوارزمية Spray&Wait لنقل البيانات في الشبكة وفي هذا الشكل، يمثل المحور X عدد العقد التي اعتمدنا على الطريقة نفسها التي ذكرت في الفقرات السابقة. وأما المحور Y فيمثل كمية البيانات المتبادلة، ومن المثير للاهتمام في هذا الشكل هو تفوق واضح لنموذج الحركة Cauchy Flight على بقية النماذج. إذ نلاحظ أن كمية البيانات المتبادلة تكون في أقل حد لها عند استخدام النموذج المذكور. وأما من ناحية الاستقرارية والتباين في كميات البيانات المتبادلة فإن نموذج حركة الإنسان عكس استقرارية أعلى وتباين أقل من النموذجين الآخرين، والشكل (4) يوضح التباين في نماذج الحركات الثلاثة المستخدمة. ويوضح الشكل أيضاً ظهور قيمة متطرفة outlier في نموذج حركة الإنسان التي من بعد تدقيقنا للبيانات تبين أنها نتيجة متطرفة لأحدى التجارب ولم تتكرر إلا لمرة واحدة؛ ولأجل هكذا حالات نفذت كل تجربة عشرة مرات واعتماد معدلها كنتيجة للتنفيذ.

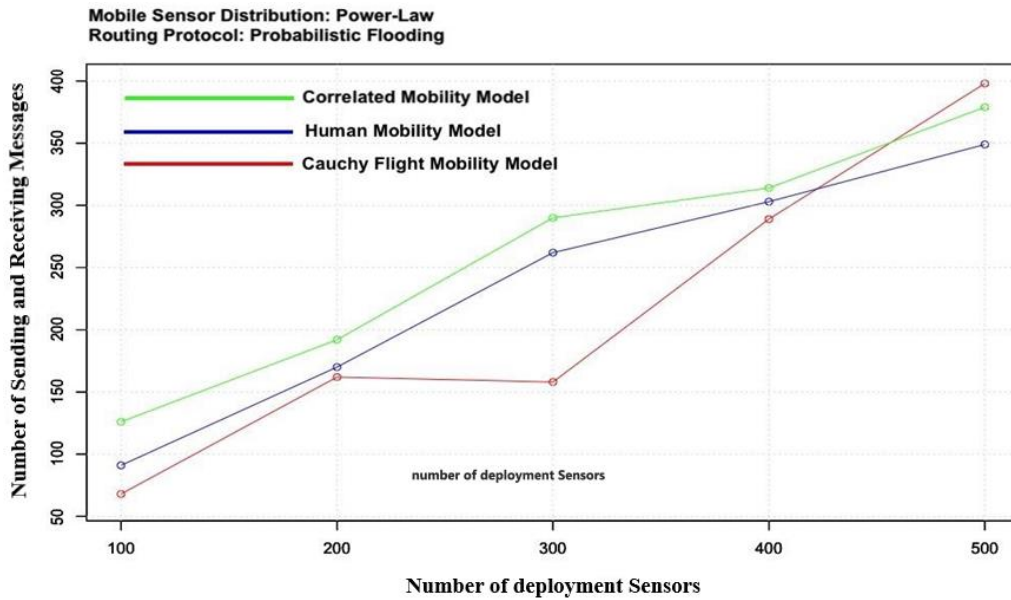


الشكل (3) كمية البيانات المستهلكة عند استخدام توزيع Power-Law مع خوارزمية Spray & Wait في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.



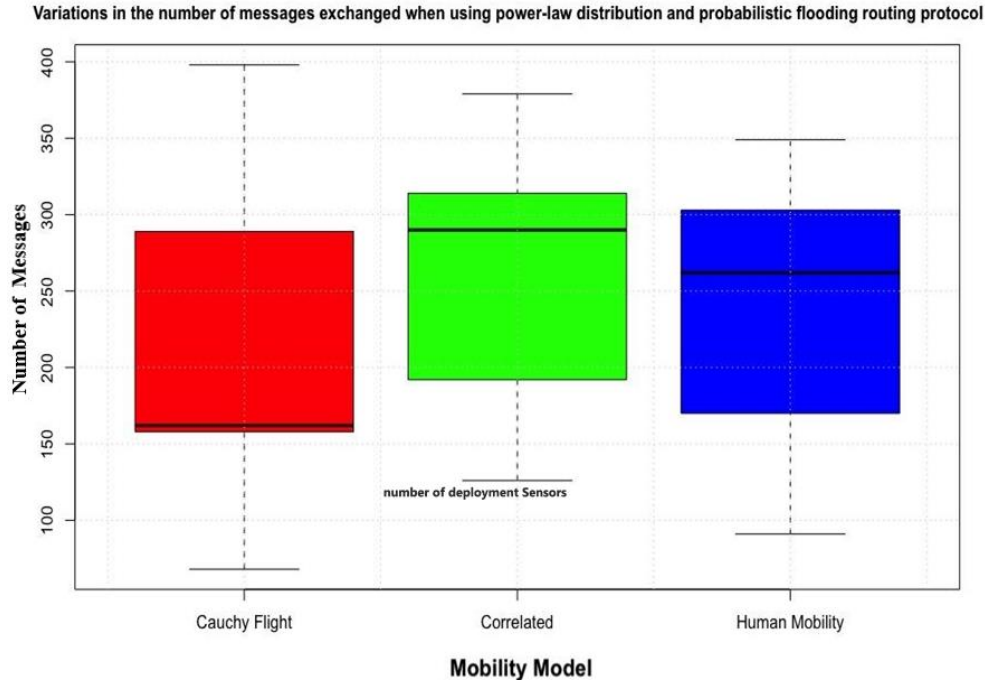
الشكل (4) قياس استقرارية تبادل البيانات في نماذج الحركة المستخدمة التي اعتمدت طريقة Spray & Wait في نقل البيانات.

نأتي الآن إلى تحليل نتائج التجارب بعد تغيير خوارزمية نقل البيانات لتكون Probabilistic Flooding. ان الشكل (5) يوضح كمية البيانات المتبادلة لنماذج الحركات الثلاث المستخدمة التي من الواضح تفوق نموذج الحركة Cauchy Flight على بقية النماذج الأخرى المستخدمة في هذا البحث؛ لذلك فإن استخدام هذا النموذج من الحركة يعدّ فعالاً باستخدام خوارزمية Probabilistic Flooding و Spray & Wait في نقل البيانات وأنه يحافظ على إستهلاك مصادر الشبكة.



الشكل (5) كمية البيانات المستهلكة عند استخدام توزيع Power-Law مع خوارزمية Probabilistic Flooding في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.

من ناحية أخرى، هناك نقطة سلبية في أداء نموذج الحركة Cauchy Flight وهي عدم استقرارية النموذج وتباين نتائجه في مختلف التجارب. والشكل (6) يصور أداء نماذج الحركات الثلاث الذي من الواضح فيه التذبذب في استقرارية وتباين كمية البيانات المتبادلة.

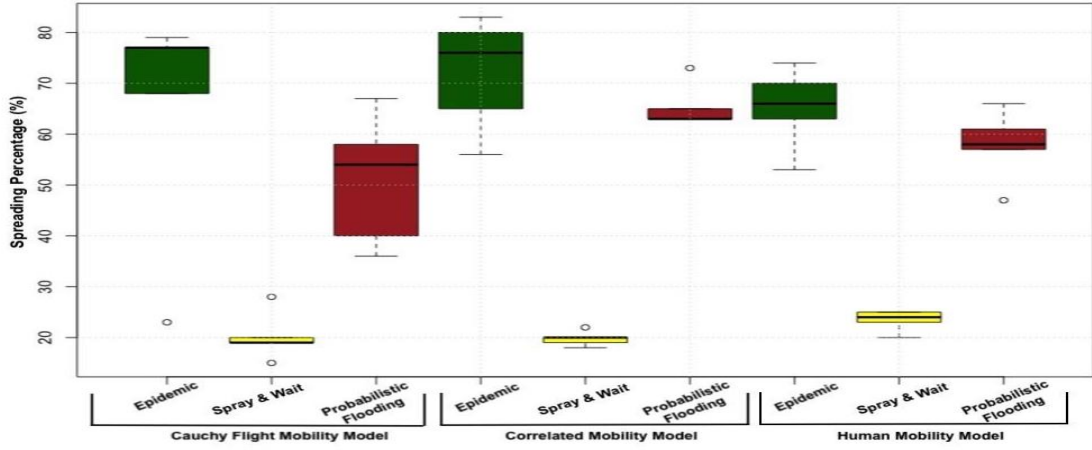


الشكل (6) قياس استقرارية تبادل البيانات في نماذج الحركة المستخدمة التي اعتمد طريقة Probabilistic Flooding في نقل البيانات.

## Power Resources Consumption

## 2-1-7 استهلاك مصادر الطاقة

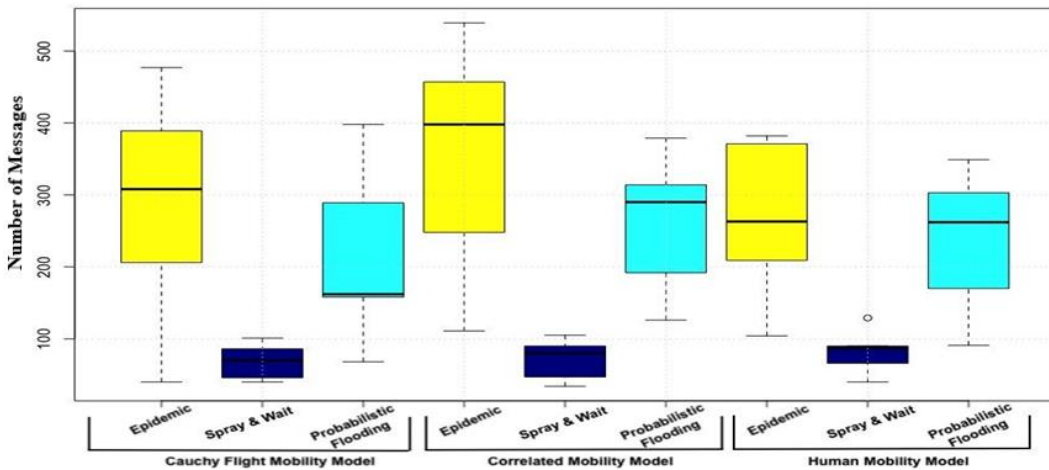
يعدّ تقليل استهلاك الطاقة من أهم التحديات التي يواجهها مطورو المدن الذكية، وكذلك شبكات المتحسسات اللاسلكية لأنّ هذه المتحسسات متحركة ولا تمتلك مصدر مستمر للطاقة؛ لذلك يُعتمد على بطارية هذه المتحسسات فقط مصدراً رئيساً للطاقة وفي الحقيقة هناك الكثير من العوامل التي تؤثر على استهلاك الطاقة ومن أهمها هي كمية البيانات المتبادلة التي سُرحت في الفقرات أعلاه. في هذا البحث، افترضنا أن جميع العقد المتحركة في المدينة الذكية الافتراضية هي هواتف محمولة ذكية حُمِلت بواسطة الإنسان. أيضاً، وجميع البيانات المتبادلة تحصل بشكل رئيس عن طريق تقنية WiFi أو Bluetooth وأننا اعتمدنا الأولى في هذا البحث. إن كل عملية إرسال أو استلام للبيانات تستهلك طاقة معينة من البطارية التي بدورها تستهلك من قبل الهوائي اللاسلكي WiFi الذي يعدّ من أكثر أجزاء الهواتف المحمولة استهلاكاً للطاقة. لذلك كلما كانت كمية البيانات المتبادلة قليلة قلّ استهلاك الطاقة، وهنا يجب الإشارة إلى أن تقليل كمية البيانات المتبادلة لا يجب أن يكون على حساب الهدف المرجو من تصميم الشبكة. والشكل (7) يوضح التباين في أعداد العقد التي استشعرت الحدث المنتشر في الشبكة باستخدام نماذج الحركات الثلاث المعتمدة في هذا البحث، واستعملت طرائق عديدة لنقل البيانات (Spray & Wait, Epidemic, Probabilistic Flooding). ونلاحظ في هذا الشكل أنّ استخدام نموذج الحركة Correlated مع طريقة نقل من نوع Probabilistic Flooding قد فاق أدائه النماذج الأخرى من ناحية عدد العقد التي استلمت البيانات (رسالة أو حدث). إن جميع النتائج التي حصلنا عليها باستخدام طريقة النقل Epidemic لا يُعتمد عليها لأنّ هذه الطريقة تُستخدم فقط لأغراض المقارنة والهدف دائماً هو الحصول على أداء قريب من أدائها.



الشكل (7) النسبة المئوية لعدد العقد التي عُطيت بالبيانات في جميع نماذج الحركة المستخدمة في هذا البحث وجميع خوارزميات نقل البيانات المستخدمة أيضاً.

### 3-1-7 استهلاك الذاكرة Memory Consumption

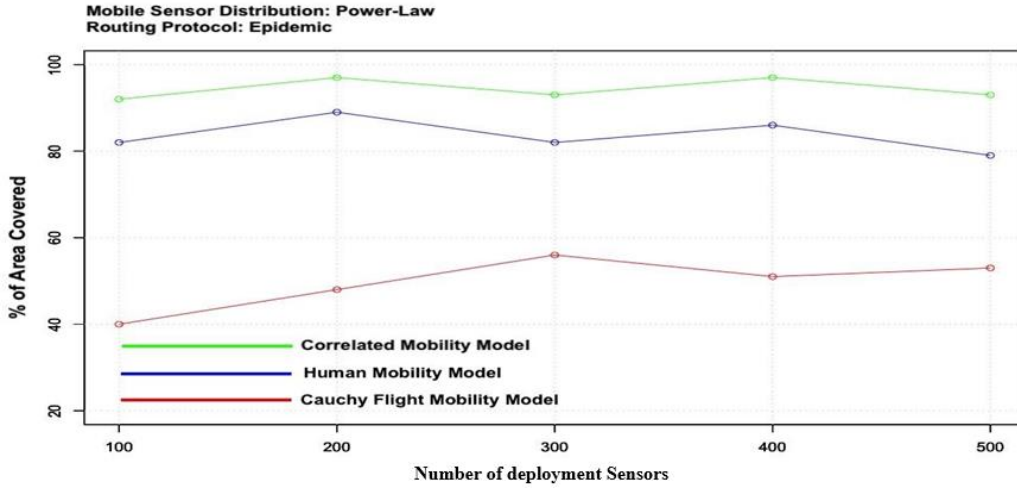
يعد استهلاك الذاكرة من المعايير المهمة في قياس الأداء العام للشبكة، ولتوضيح هذه المسألة نفترض وجود هاتف محمول الذي يعمل على تقنية WiFi في نقل البيانات. في هذه الحالة، حينما يكون حامل هذا الجهاز في منطقة مزدحمة كأن تكون سوق أو مول تجاري فإن عدد الهواتف المحمولة التي تكون في مدى هذا الهاتف كثيرة جداً، وفي هذه الحالة على افتراض وجود مدينة ذكية، إذا ما استُلمت رسائل من الأجهزة المحيطة فإن ذاكرة هذا الجهاز ستكون ممتلئة في أسابيع معينة؛ لذلك يجب إدارة الذاكرة وتحديد ما سوف يخزن بها من بيانات والميل إلى عدم تخزين بيانات غير قيمة لذلك الجهاز، والشكل (8) يوضح أداء نماذج الحركات الثلاث المستخدمة وطرائق النقل الثلاث أيضاً. ونلاحظ من هذا الشكل أن خوارزمية توجيه البيانات من نوع Spray & Wait باستخدام نماذج الحركات الثلاث تعكس عدداً قليلاً من الرسائل المتبادلة. والسبب في ذلك يعود إلى أن هذه الخوارزمية تمرر البيانات أو الرسائل بطريقة محددة جداً، وهذا ما يؤدي بالتالي إلى تقليل استهلاك مصادر الشبكة من ناحية الذاكرة ومن نواحي أخرى مثل استهلاك الطاقة.



الشكل (8) عدد الرسائل المتبادلة باستخدام جميع نماذج الحركة في هذا البحث وجميع خوارزميات نقل البيانات المستخدمة أيضاً.

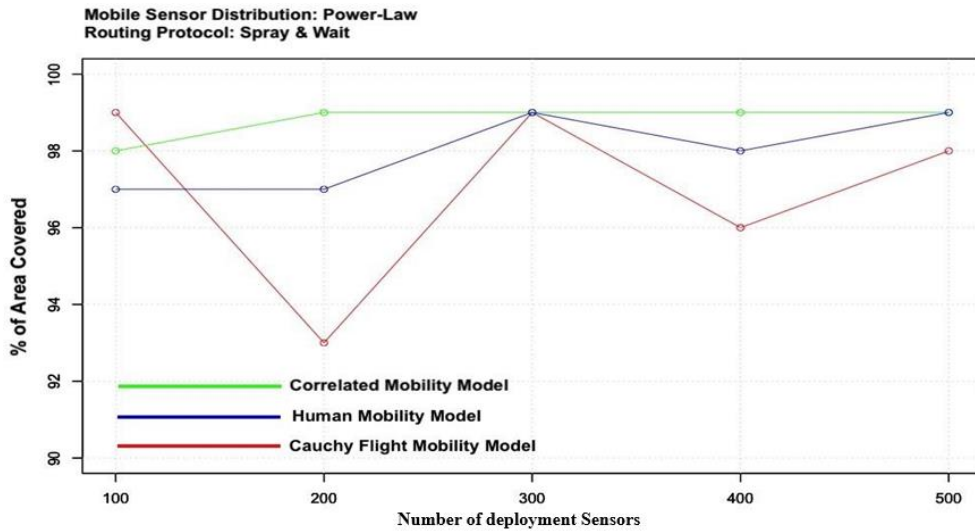
## 2-7 مساحة التغطية Coverage Area

من القياسات التي أُجريت في هذا البحث هي المساحة التي غُطيت بالبيانات في الشبكة. إذ استُعملت نماذج حركة مختلفة مع تنوع خوارزميات نقل البيانات لبيان الطرائق المثلى لتغطية أكبر مساحة ممكنة بالبيانات. والشكل (9) يوضح تفوق واضح لنموذج الحركة Correlated مقارنة مع النموذجين الآخرين عند استخدام طريقة نقل بيانات من نوع Epidemic من حيث المساحة التي تمت تغطيتها، ونلاحظ أيضاً أن نموذج حركة الإنسان قد عكس اداءاً مقارباً جداً إلى النموذج المذكور آنفاً. فيما تخلف نموذج الحركة Cauchy Flight في أدائه بشكل واضح.



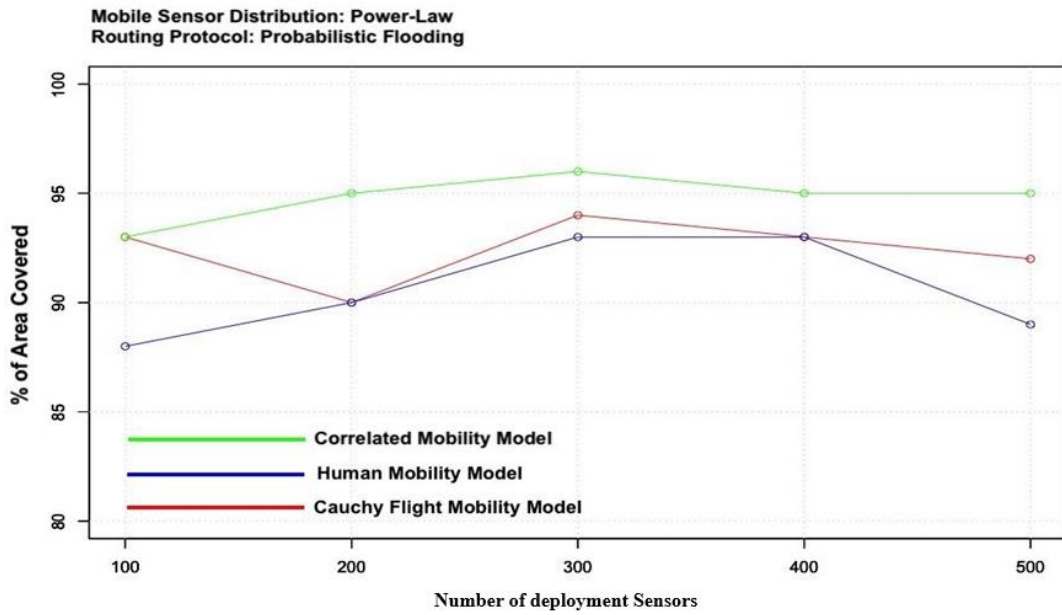
الشكل (9) المساحة التي غُطيت بالبيانات باستخدام توزيع Power-Law مع خوارزمية Epidemic في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.

أما الشكل (10) فإنه يعكس نتيجة مقارنة للشكل السابق باستخدام الإعدادات السابقة نفسها مع تغيير طريقة النقل إلى Spray & Wait مع ملاحظة تذبذب في أداء النموذج Cauchy Flight. وهذا التذبذب يعدّ غير مرغوباً فيه لعدم استقراره، ولا يمكن الاعتماد عليه في هذا النوع من الشبكات لأنّ استقرار نتائج تجربة معينة تعدّ من الأمور المهمة في التعبير عن مدى الاعتمادية عليها.



الشكل (10) المساحة التي غُطيت بالبيانات باستخدام توزيع Power-Law مع خوارزمية Spray & Wait في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.

في الشكل (11) عُيِّرت طريقة نقل البيانات إلى Probabilistic Flooding الذي بدوره قد حسن من أداء نموذج الحركة Cauchy Flight ليتفوق على نموذج حركة الإنسان في المساحة التي غُطيت بالبيانات. وأما نموذج الحركة Correlated فقد بقي متفوقاً في أدائه عن بقية نماذج الحركة المستخدمة في هذا البحث. وتبيّن بالأشكال الثلاثة السابقة أن نموذج الحركة Correlated يعدّ من أفضل نماذج الحركة التي لها القابلية على تغطية أكبر مساحة ممكنة بالبيانات في الشبكة. وهذه النتيجة مستقرة حتى عند تغيير خوارزميات نقل وتوجيه البيانات. وتعدّ هذه النتيجة مثيرة للاهتمام بحيث إذا كان الهدف في الشبكة في وقت معين فمن الممكن الاعتماد على العقد التي تتبع في حركتها هذا النموذج في نشر البيانات إلى أكبر مساحات ممكنة في الشبكة في المدينة الذكية.



الشكل (11) المساحة التي غُطيت بالبيانات باستخدام توزيع Power-Law مع خوارزمية Probabilistic Flooding في توجيه البيانات عند توظيف نماذج الحركات الثلاث.

## 8. المناقشة والإستنتاجات والأعمال المستقبلية

في هذا البحث قمنا بعمل محاكاة لمدينة ذكية تحمل مفهوم إنترنت الأشياء وتتضمن في تصميمها شبكة لاسلكية. وهذه الشبكة تتكون من عقد ثابتة ومتحركة. بحيث أن كل عقدة ثابتة تمثل متحسس أو مستشعر في مكان معين ويقوم بمهمة معينة (قياس حرارة أو رطوبة أو ضغط الخ). أما العقد المتحركة تمثل الهواتف المحمولة من الإنسان بحيث كل واحدة منها تسلك سلوك الإنسان في حركتها. وعليه فإنّ هذا المزيج من العقد الثابتة والمتحركة يخضع إلى عدة إعدادات التي تعكس في طبيعة تصميمها الكثير من المتغيرات. ومن أهم هذه المتغيرات هو نموذج الحركة التي تتبعه العقد المتحركة، وطريقة توزيعها في المحيط. إذ أنّ العقد الثابتة تخضع إلى طريقة معينة عند توزيعها. فضلاً عن ذلك، جميع العقد الثابتة والمتحركة يجب أن تستخدم طريقة أو خوارزمية معينة في تبادل البيانات فيما بينها.

إنّ نماذج الحركة المستخدمة مع العقد المتحركة هي ثلاث في هذا البحث (Human Mobility Model ، Correlated Model ، Cauchy Flight Model). وأما طرائق التوزيع المعتمدة فهي (Power-Law ، Normal ، Uniform). وإنّ خوارزميات توجيه البيانات هي (Spray&Wait ، Epidemic ، Probabilistic

(Flooding). وقد ضُمت 270 تجربة ونفذت في الوقت نفسه، وكل واحدة منها تمثل مزيج من المتغيرات المذكورة آنفاً. والغرض من التنوع في التجارب هو بيان تأثير نماذج الحركة في استهلاك مصادر الشبكة. إذ قيس في هذا البحث أمور عديدة منها: كمية البيانات المتبادلة، واستهلاك مصادر الطاقة، واستهلاك الذاكرة. وأجريت قياسات أخرى مثل مساحة التغطية للبيانات التي نُشرت ونسبة العقد التي تتأثر في حصول حدث في الشبكة.

ويمكن تلخيص ما توصلنا إليه من نتائج في هذا البحث بالآتي:

- تعدّ نماذج الحركة التي استُعملت مع العقد المتحركة من أحد العوامل المهمة في تحديد استهلاك مصادر الشبكة.
- فضلاً عن تأثير نماذج الحركة في استهلاك مصادر الشبكة، فإنّ خوارزميات وطرائق توجيه البيانات لها تأثير أيضاً.
- يعدّ نموذج حركة الإنسان Human Mobility Model الذي يعبر بدقة عن سلوك الإنسان في الحركة من أكثر النماذج استقراراً من ناحية الأداء. على سبيل المثال، التباين الذي يحصل عند تنفيذ التجارب في كمية البيانات المتبادلة أقل من الذي يحصل عند تطبيق نماذج حركة أخرى.
- إنّ نموذج الحركة Correlated Directions Model يعدّ من النماذج التي تعكس بشكل قريب سلوك حركة المركبات من النماذج التي تؤدي إلى تقليل استهلاك مصادر الشبكة ولكن في استقرارية أقل من نموذج حركة الإنسان.
- استناداً إلى النقطتين اعلاه من الممكن تطبيق نموذجي الحركة المذكورين في نموذج واحد والذي نعتقد أنه سوف يؤدي إلى تقليل استهلاك مصادر الشبكة بشكل أمثل. وتعدّ هذه الحالة واقعية جداً لأنّ المدن الذكية لا تضمّ أشخاصاً وإنما تضمّ مركبات أيضاً التي يمكن استغلالها على شكل حاملات للعقد المتحركة، ومن الممكن أن تساعد العقد المحمولة من الأشخاص أنفسهم.
- فيما يخص استهلاك مصادر الطاقة، إنّ استخدام نموذج الحركة Correlated Mobility Model مع طريقة نقل من نوع Probabilistic Flooding قد فاق في أدائه النماذج الأخرى من ناحية عدد العقد التي استشعرت الأحداث في الشبكة.
- فيما يخص استهلاك ذواكر عقد الشبكة، إنّ خوارزمية توجيه البيانات من نوع Spray&Wait باستخدام نماذج الحركات الثلاث تعدّ اقتصادية لأنها تحدد كثيراً عملية إرسال الرسائل وتبادل البيانات. هذه النقطة تعتمد بشكل كبير على أهداف تصميم الشبكة، وعلى سبيل المثال إذا كان الحدث المراد نشره في الشبكة يعدّ إعلاناً أو تنبيهاً معيناً فإنّ هذه الخوارزمية تكون غير فعالة.
- يعدّ نموذج حركة الإنسان من النماذج التي لها القدرة على تغطية أكبر مساحة ممكنة في الشبكة بالبيانات. ويُعزى السبب في ذلك إلى كون إنّ حركة الإنسان تكون غير مقيّدة بمسارات معينة ومن الممكن للأشخاص التحرك باتجاهات ومسارات كثيرة ومختلفة.
- أثبتت التجارب أنّ نموذج حركة الإنسان يعدّ من النماذج التي تتمتع باستقرارية في سلوكها وأدائها على الرغم من التنوع الحاصل في متغيرات التجارب؛ لذلك إن نسبة العقد التي تتأثر بالحدث خلال الشبكة عند استخدام نموذج حركة الإنسان لا يعدّ أمثل، ولكنّه كفوء مقارنة مع بقية نماذج الحركة المستخدمة.
- إنّ قياس أداء تجربة معينة لا يعتمد فقط على النتائج التي حصلنا عليها من التجربة نفسها، ولكنّه يعتمد أيضاً على مدى استقرارية التجربة، وتعدّ هذه النقطة مثيرة للاهتمام لأنّ تنفيذ تجربة معينة في هكذا نوع من المحاكاة



قد يعطي نتائج مختلفة في كل تنفيذ. لذلك قمنا في هذا البحث بتنفيذ كل تجربة عشر مرات والاعتماد على معدلها في تثبيت نتائج تجربة معينة.

وأخيراً، من الأعمال المستقبلية التي يمكن إجراؤها في محاكاة المدن الذكية، وإنترنت الأشياء هو استخدام نماذج حركة مختلفة التجربة نفسها. ولأنّ واقع المدن يتضمن العديد من الكائنات المتحركة غير الإنسان والمركبات، وعلى سبيل المثال يمكن الاعتماد على بعض الحيوانات مثل الطيور والزواحف في نقل البيانات في المدن، ويحصل ذلك بجعل هذه الحيوانات حوامل للعقد المتحركة، ومن الأعمال المستقبلية أيضاً في هذا المجال هو استخدام مرسلات ثابتة بعيدة المدى في تبادل البيانات، ويمكن أيضاً استخدام أو تطوير خوارزميات أخرى لتوجيه البيانات ليتضمن نموذج المحاكاة نماذج حركة عديدة، وطرائق مختلفة لتوجيه البيانات على وفق العقد وطبيعة المنطقة التي تنتشر فيها العقد. وكل ما ذكر من مقترحات قابلة للتطبيق لأعمال مستقبلية لاسيّما مع توفر الأدوات البرمجية والتطبيقات التي تمكننا من محاكاة المدن الذكية.

المصادر

- [1] Mahmood, B., Tomasini, M., & Menezes, R. (2015, October). Estimating memory requirements in wireless sensor networks using social tie strengths. In 2015 IEEE 40th Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops) (pp. 695-698). IEEE.
- [2] Song, C., Koren, T., Wang, P., & Barabási, A. L. (2010). Modelling the scaling properties of human mobility. *Nature Physics*, 6(10), 818.
- [3] Tomasini, M., Zambonelli, F., Brayner, A., & Menezes, R. (2013, September). Evaluating the performance of social networks of sensors under different mobility models. In 2013 International Conference on Social Computing (pp. 397-402). IEEE.
- [4] Howard, A., Matarić, M. J., & Sukhatme, G. S. (2002). Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem. In *Distributed Autonomous Robotic Systems 5* (pp. 299-308). Springer, Tokyo.
- [5] Aziz, A. A., Sekercioglu, Y. A., Fitzpatrick, P., & Ivanovich, M. (2012). A survey on distributed topology control techniques for extending the lifetime of battery powered wireless sensor networks. *IEEE communications surveys & tutorials*, 15(1), 121-144.
- [6] Chellappan, S., Gu, W., Bai, X., Xuan, D., Ma, B., & Zhang, K. (2007). Deploying wireless sensor networks under limited mobility constraints. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(10), 1142-1157.
- [7] de Melo, P. O. V., Viana, A. C., Fiore, M., Jaffrès-Runser, K., Le Mouël, F., Loureiro, A. A., & Guangshuo, C. (2015). RECAST: Telling apart social and random relationships in dynamic networks. *Performance Evaluation*, 87, 19-36.
- [8] Mtibaa, A., May, M., Diot, C., & Ammar, M. (2010, March). Peoplerank: Social opportunistic forwarding. In 2010 Proceedings IEEE INFOCOM (pp. 1-5). IEEE
- [9] Mahmood B., Tomasini M., & Menezes R. (2015). Social-driven information dissemination for mobile wireless sensor networks. *Sensors & Transducers*, 189(6), 1-11.
- [10] Tomasini, M. Zambonelli, F., & Menezes, R. (2013, August). Using patterns of social dynamics in the design of social networks of sensors. In 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (pp. 685-692). IEEE.
- [11] Song, C., Qu, Z., Blumm, N., & Barabási, A. L. (2010). Limits of predictability in human mobility. *Science*, 327(5968), 1018-1021.

- [12] Bandyopadhyay, S., Coyle, E. J., & Falck, T. (2007). Stochastic properties of mobility models in mobile ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(11), 1218-1229.
- [13] Micheline, P. N., & Coyle, E. J. (2008, September). Mobility models based on correlated random walks. In *Proceedings of the International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems* (p. 86). ACM.
- [14] Carpenter, J. R., & Mashiku, A. K. (2015). Cauchy drag estimation for low earth orbiters.
- [15] Mahmood, B., Tomasini, M., Menezes, R., *Social Network of Sensors, Netlogo Models*, 2014.
- [16] Sklar, E. (2007). NetLogo, a multi-agent simulation environment.
- [17] Mahmood, B., & Menezes, R. (2016). The Role of Human Relations and Interactions in Designing Memory-Related Models for Sensor Networks. *Sensors & Transducers*, 199(4), 42-51.