

## تقييم أداء الاتصال اللاسلكي من ناحية نموذج التعديل المطبق، قدرة الإرسال، تأثير الضجيج، وهامش قبول الرزم الخاطئة

• نعمى يونس

(تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2016. قُبِلَ للنشر في 13 / 10 / 2016)

### □ ملخص □

لقد أصبحت الاتصالات اللاسلكية هي الأكثر شيوعاً في العقد الأخير، لكن على الرغم من وجود العديد من الفوائد لاستخدام الاتصالات اللاسلكية مقارنة بالأنظمة ذات الخطوط الثابتة، فإنه توجد سيئات تتجلى بوجود معدل مرتفع لأخطاء البت في بيئة العمل المعرضة للتشويش الدائم والمؤقت، بالمقابل هناك تقنيات لتخفيض تأثير أخطاء الإرسال في الاتصالات اللاسلكية، لقد قمنا في هذا البحث بمناقشة بعض الطرق والتقنيات المطبقة لمعالجة حدوث الأخطاء والتخفيف من تأثيراتها (زيادة قدرة الإرسال، تغيير مخطط التعديل) إضافة إلى تقييم أداء الاتصال اللاسلكي مع الأخذ بالحسبان العوامل المختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** نسبة الإشارة إلى الضجيج، الوسط اللاسلكي، شدة الإشارة المستقبلية، معدل خطأ البت، مخطط التعديل، قدرة الإرسال.

• قانم بالأعمال ، قسم النظم الحاسوبية والإلكترونية، كلية تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات، جامعة طرطوس ، سورية

## Evaluation Wireless Connection performance with respect to modulation scheme, transmitter power, effective interference and ECC threshold

Noama Younes \*

(Received 27 / 4 / 2016. Accepted 13 / 10 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Wireless communication has become more popular over the last decade. Although there are many advantages to use wireless over fixed line systems, there is a major disadvantage, which is a high transmission error rate in a temporal and permanent noisy environment. There are techniques to reduce effectiveness off transmission errors in wireless communications. We have discussed in this paper. Many methods and techniques have been implementing to deal and resist errors (by increasing transmission power, switching modulation scheme) as well as evaluation the wireless connection performance taking into account many factors.

**Keywords:** Signal Noise Ratio, wireless medium, Received Strength Signal indicator, Bit Error rate, Scheme modulation, transmission power.

---

\* Academic Assistant, computer and electronic systems Department in faculty of telecommunication and information technology in Tartous university

## مقدمة:

تحدد إنتاجية القناة ونسبة الإشارة إلى الضجيج (SNIR) جودة الوصلة الراديوية في الوسط اللاسلكي (channel throughput and signal-to-interference ratio)، تستطيع الطرفيات في الشبكات المحلية اللاسلكية استخدام خوارزميات لملاءمة المعدل أوتوماتيكياً لاكتشاف معدل النقل المثالي الخاص بنسبة SNIR المتوفرة من خلال التبديل بين تقنيات التعديل المختلفة لضمان عتبة محددة لـ BER (Bit Error Rate)، فعلى سبيل المثال في حال كانت قيمة SNIR عالية (أكبر من 25db) يكون بمقدورنا تطبيق تقنية التعديل 64QAM والتي تعتبر سريعة جداً، أما في حال انخفضت جودة الإشارة إلى ما دون (7db) حينها تستخدم الطرفية اللاسلكية تقنية التعديل BPSK لضمان عتبة BER [1]. يؤثر التشويش على قيمة SNIR عند المستقبل والذي يؤثر بدوره على أداء الاتصال. سنقوم بتقييم أداء الاتصال اللاسلكي من ناحية نموذج التعديل المطبق وإنتاجية الوحدة المستقبلية وهامش قبول الرزم الخاطئة وذلك من خلال تصميم نموذج راديوي بسيط مكون بدوره من عقدة مرسله وعقدة مستقبله تتواصلان مع بعضهما لاسلكياً تحت تأثير عقدة ثالثة متحركة هي العقدة المشوشة، حيث تستخدم العقد الثلاث هوائي مثالي (isotropic) في الإرسال.

## أهمية البحث وأهدافه:

إن اختيار مخطط التعديل الرقمي سيكون له تأثير كبير على الميزات والأداء والتقييم الفيزيائي الناتج لنظام الاتصالات، يعتبر التداخل بين القنوات المتجاورة أحد المشاكل الأساسية في الوسط اللاسلكي، حيث تعاني الوصلات ضمن منظومة الاتصالات اللاسلكية من انخفاض الموثوقية لكونها معرضة بصورة دائمة للتذبذب والتشويش الطارئ على الاتصال الجاري نتيجة استخدام الوحدات الراديوية منخفضة القدرة والتي تعتبر بدورها حساسة جداً لهذه المشاكل، إضافة إلى الانعكاسات التي تعاني منها الإشارة الراديوية أثناء انتشارها، بما يعنيه ذلك من انخفاض جودة الأداء التي تمنع الطرفيات المتحركة من الحصول على سرعة وسعة عالية في الاتصال، من الممكن تحليل جودة الوصلة بناء على معامل قوة الإشارة المستقبلية (RSSI (Received Strength Signal indicator) أو نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR (Signal Noise Ratio) أو تركيب من كلتا القيمتين ، لا نستطيع أن نمنع حدوث التشويش في الوسط اللاسلكي كما يجب علينا أن نأخذ تأثيره على الوسط اللاسلكي بالحسبان. نستطيع من خلال برنامج الـ Opnet نمذجة شبكة لاسلكية تعمل تحت تأثير التشويش من خلال تصميم بيئة التواصل (عقدة مرسله، عقدة مستقبله) ودراسة التفاوت في شدة الإشارة المستقبلية تحت تأثير التغير الحاصل في قيمة الضجيج مع تطبيق تقنيات مختلفة للتعديل. لقد تم هنا التعبير عن جودة الوصلة (Link Quality) من خلال إنتاجية القناة ونسبة الإشارة إلى الضجيج.

## طرائق البحث ومواده:

بناء على التطور السريع والتوسع المتزايد لمجال الشبكات الذي اجتاحت العالم الذي أوجد مجموعة من المطالب كضرورة لتحقيق مهندسي الشبكات لغاياتهم التطويرية، ولهذا السبب أصبح من أولوية الجامعات أن تؤمن مناهج تعليمية للشبكات تكون قابلة للتحديث، وبسبب العديد من العوائق يكون من غير المنطقي بالنسبة للجامعات أن تزود نماذج مختلفة من الشبكات إلى طلابها وبذلك فإن أداة تقييمه تفي بالغرض في هذه الحالة هي OPNET Modeler.

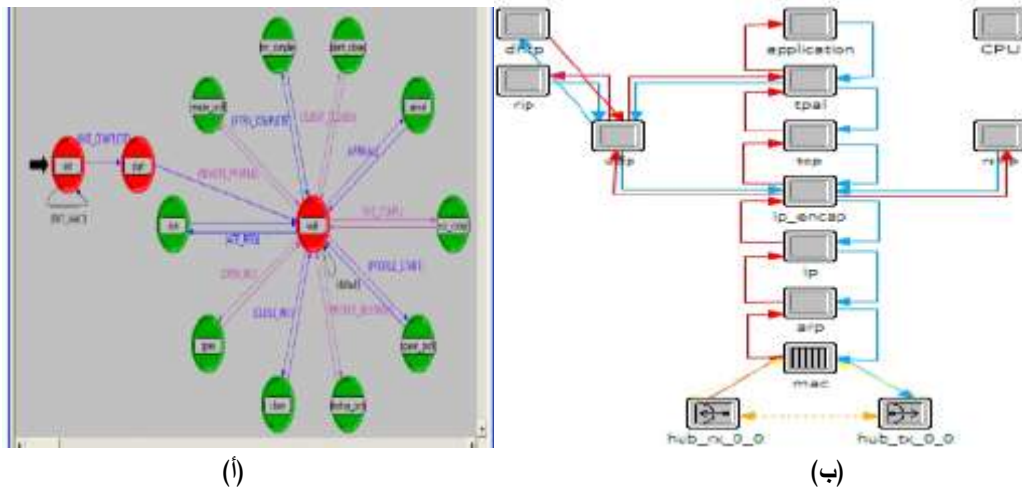
يستخدم المحاكى OPNET (Optimized Network Engineering Tools) والذي يقدم أدوات لتصميم النظام، ومحاكاته لتحصيل المعطيات وتحليل النتائج لأجل ذلك، يقدم المحاكى OPNET مجال واسع من الشبكات المختلفة والتي ترتبط مع بعضها البعض، فعندما يقوم الدارسون بتحديد الخيارات المتاحة لدى العقد في الشبكة، ودراسة تأثير ذلك على منحنيات النتائج. تدفق رزم البيانات، الرزم المفقودة، تدفق رسائل التوجيه والتحكم، تعطل الوصلات، أخطاء البت، فهو الحل الأكثر فعالية بالنسبة للجامعات لتقييم أداء الشبكات والبروتوكولات تحت تأثير العوامل المختلفة [2] و [3]، يتكون بدوره من ثلاث مستويات أساسية هي مستوى الشبكة، مستوى العقدة، مستوى العملية.

### 1. محرر العقدة (The Node Editor):

يستخدم محرر العقد لتوليد نماذج العقد، تستخدم نماذج العقد حينها لتوليد أمثال من العقد ضمن الشبكات المستخدمة في محرر المشروع، تمتلك بدورها نماذج عقدة الأوبنت ضمناً بنية نموذجية (modular structure)، يتم تعريف العقدة من خلال توصيل العديد من النماذج بواسطة مجاري الرزم والمسارات الساكنة (packet streams and statistic wires)، تسمح هذه الارتباطات بين النماذج المختلفة بتبادل الرزم ومعلومات الحالة. إن كل نموذج مكون للعقدة يخدم غاية محددة، كتوليد الرزم واصطفاها ومعالجتها، أو إرسال الرزم واستقبالها، يبين الشكل (1) البنية التفصيلية للعقدة في Opnet [3].

### 2. محرر نموذج العملية (The Process Model Editor):

لتوليد نماذج العملية التي تتحكم بالوظيفة المضمنة لنماذج العقدة التي تم إنشاؤها بواسطة محرر العقدة [3]، يتم تمثيل نماذج العقدة باستخدام ما يدعى آلات الحالة المنتهية (FSMs) finite state machines والتي يتم إنشاؤها من خلال الأيقونات التي تمثل الحالات والمسالك التي تمثل بدورها الانتقالات بين الحالات، إن العمليات المنجزة لأجل كل حالة أو لأجل كل انتقال يتم توصيفها بلغة C المجهزة أو بلوكات البرمجة ++C [3].



الشكل (1-أ-ب): (أ) البنية المكونة للعقدة في Opnet و(ب) مخطط الحالة المكون له [3,4]

إن الخطوط الزرقاء والحمراء (Packet streams) تشير إلى تدفق رزم المعطيات بين العمليات (processes).

### 3. بنية العقدة:

- 3.1 الطبقة الفيزيائية (Physical Layer)** [5]: المرسل (Transmitter): صيغة الرزمة Ethernet\_v2، حجم النسق 100 (queue size) رزمة، معدل المعطيات غير معرف.
2. المستقبل (Receiver): يجب أن يكون لدى الرزمة (0) بت خاطئ لكي يتم توجيهها إلى طبقة الـ MAC (عتبة ecc).
3. المسار الساكن (Statistic wire): بين المرسل والمستقبل للمصادقة المنطقية للمرسل المستقبل (transceiver).
4. المسارات الساكنة إلى MAC تخبر حالات الـ MAC للمرسل المستقبل (busy).
5. مجاري الرزم (Packet streams) تحمل رزم البيانات و ICIs: الرزم التي تكون تابعة يتم معالجتها كأغراض فيزيائية. معلومات التحكم بالارتباط (ICI): بنية المعطيات لأجل الاتصالات لغير المعطيات.
6. المسارات الساكنة (Statistic wires): تحمل قيم منفردة مثلاً معلومات الحالة المتشاركة بين العمليات.

**3.2 طبقة وصلة المعطيات (Data Link Layer):** بروتوكول MAC للإيثرنت، بارامترات الـ MAC عبارة عن قيم من الممكن ضبطها حسب متطلبات المشروع [5].

**3.3 طبقة الشبكة (Network Layer):** تتضمن بروتوكولات Mobile IP, IPv4, IPv6, ICMP, IGMP, MANET, تغليف IP (IP Encapsulation): إدارة بروتوكول الاتصال المتعدد عبر IP [6].

**3.4 طبقة النقل (Transport Layer):** بروتوكولات TCP, UDP, RSVP، طبقة التكيف لبروتوكول النقل (tpal) تزود ارتباط عام للتطبيقات إلى بروتوكول نقل (TCP, UDP, ATM, X.25, Frame) [6] (Relay).

**3.5 طبقة التطبيق (Application Layer):** تطبيقات المستخدم النهائية HTTP, FTP, Database, Custom, تطبيقات الإدارة DHCP, RIP, CPU، نموذج الأداء للمعالج، التخزين [5].

### 4. تصميم الشبكة اللاسلكية

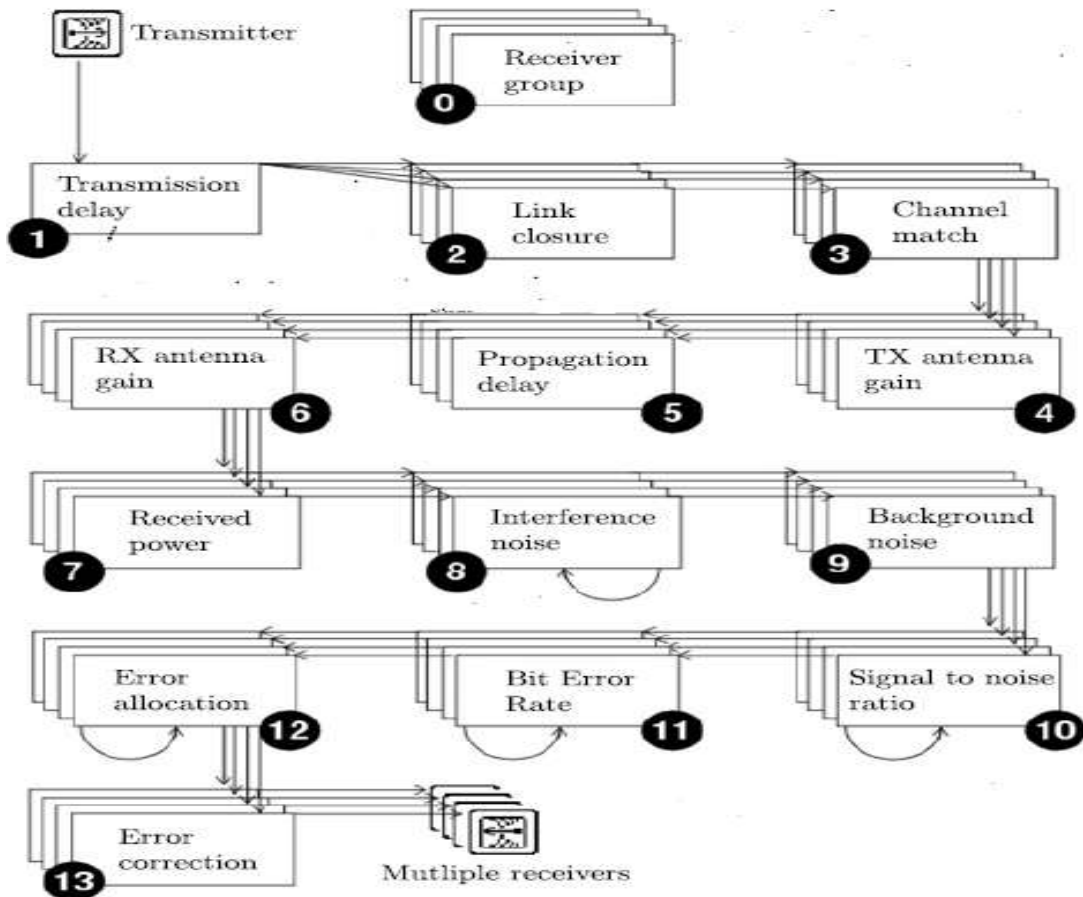
تتألف الشبكة المصممة من ثلاث انواع من العقد تستخدم بدورها الهوائي المثالي (Isotropic) هي [1]:

**4.1 العقدة المرسل:** تعتمد العقدة المرسل على توليد الرزم وإرسالها في الوسط اللاسلكي وفق نموذج محدد لتعديل المعطيات وباستخدام نموذج الهوائي المناسب مع تحديد مسبق لمعدل النقل 1024bit/sec مثلاً، كما يستخدم المرسل نسبة 100% من عرض حزمة القناة.

**4.2 العقدة المستقبل:** تستقبل العقدة المستقبل الإشارة المرسل وفق نموذج الهوائي المحدد، حيث تقدر جودة الإشارة، ثم تحطيم (destroys) الرزم المستقبل في المصب (Sink)، لأجل كل رزمة مستقبلية يعتمد المستقبل على تقدير جودتها في حال كانت جيدة (رزمة ذات معدل خطأ بت منخفض) أو لا، في حال كانت الرزمة المستقبلية ذات معدل خطأ بت أعلى من العتبة المحددة (ecc threshold) لأجل نوعية التعديل عندئذ يتم اعتبار الرزمة كرزمة خاطئة لا تدخل في عملية احتساب المعلومات المفيدة، في حال كان معدل خطأ البت الرزمة هو أقل من العتبة يتم حينها معالجة الرزمة ومن ثم ترسل الرزمة إلى مصب البيانات (data sink) لتحطيمها (destroying).

### 4.3. العقدة المشوشة: تقوم بتوليد الضجيج الراديوي (jammor) الذي يؤثر على الاتصال الجاري بين

العقدة المرسله والعقدة المستقبلة، فمن خلال الحركية المعرفة بصورة مسبقة يتم تطبيق تشويش متغير على بيئة الاتصال المتنقلة، تتألف العقدة المشوشة من وحدة الهوائي والوحدة الراديوية للإرسال ومنبع للرزم، تقوم بتوليد إرسال مستمر الذي يتفاوت عبر مجال من الترددات عند معدل محدد، في حال كانت الرزمة المستقبلة لديها معدل خطأ بت غير مقبول حينها سيزيد المستقبل من عدد الرزم أو البتات الفاسدة وعدد البتات والرزم الاجمالية، في حال كان لدى الرزمة معدل جيد (ضمن الحدود المقبولة) لخطأ الرزمة حينها سيقوم المستقبل أوتوماتيكيا بزيادة عدد الرزمة أو البتات الصحيحة إضافة إلى عدد الرزم او البتات الإجمالية، من الممكن في أي لحظة زمنية تحديد سرعة القناة من خلال تقسيم عدد البتات الصحيحة المستقبلة أو الرزم إلى عدد البتات الصحيحة أو الرزم المستقبلة.



الشكل(2): مراحل Pipeline اللاسلكي [6]

### 5.5. مخطط المراحل في Opnet (Opnet pipeline stages)

يوضح الشكل(2) مراحل النظام المصمم حيث يستخدم opnet النماذج التالية [6]:

#### 5.1. وحدة الإرسال /الاستقبال (Transceiver pipeline): تتكون وحدة الإرسال والاستقبال من

14 عملية (process) والتي تنفذ في كل مرة يتم فيها إرسال الرزمة حيث يوضح الشكل (2) هذه العمليات، وكما هو واضح ينقسم المخطط إلى 6 مراحل للإرسال و 8 مراحل للاستقبال، إن كل من هذه المراحل هي سلسلة برمجية بلغة C/C++ والتي تكون مصممة لمحاكاة ما يحصل بالضبط عند إرسال الرزمة.

**المرحلة(0): مجموعة الاستقبال (Receiver Group)** إنها المرحلة الأولى من وحدة الإرسال/الاستقبال

وتحدد فيما إذا كانت المستقبلات قادرة على استقبال الإشارة المرسل.

**المرحلة (1): تأخير الإرسال (Transmission Delay):** يتم في هذه المرحلة حساب الزمن المستغرق

لإرسال الرزمة، والذي يتم حسابه من تقسيم حجم الرزمة المرسل على معدل البيانات.

**المرحلة(2): اقفال الوصلة (Link Closure):** يتم هنا تحطيم الرزمة ( destroys packet ) في حال لم

تجد طريقاً إلى المستقبل.

**المرحلة(3): ملائمة القناة:** بعد أن تصل إشارات كافية إلى هوائي الاستقبال حينها سيحدد المستقبل فيما إذا

كان بمقدوره أن يفك ترميز الإشارة المستقبلية، يتم في هذه المرحلة مقارنة ميزات المرسل والمستقبل ويتضمن ذلك تردد الإرسال، مخطط التعديل، عرض الحزمة، معدل النقل ونشر الرمز ( pseudo-noise code ) وفي حال لم يتطابق تردد الإرسال بشكل تام، يحدد المستقبل فيما إذا كان هناك تجاوز لعرض حزمة المرسل والمستقبل وفي حال عدم وجود

هذا التجاور يتم تجاهل الإشارة حينها، أما في حال وجود بعض التجاور أو عندما يتطابق التردد وعرض الحزمة في بعض القيم يتم اعتبار الإشارة هنا بمثابة الضجيج، حيث سيستخدم هذا التداخل لاحقاً في المراحل الخاصة بالضجيج، أما في حال تطابق ميزات المرسل والمستقبل يتم اعتبار الإشارة سليمة وتعالج في المرحلة اللاحقة، علماً أنه في النظام المصمم لدينا (عقدة مرسل، عقدة مستقبل، عقدة تشويش) تم اعتماد الهوائي المثالي (Isotropic Antenna) بمعنى أن ربح الهوائي متساوي في كافة الاتجاهات لإرسال واستقبال الإشارات من قبل العقد وعلى نحو عام فإن التوافق في الاستقطاب بين هوائي الإرسال والاستقبال له تأثير كبير على جودة الإشارة المستقبلية.

**المرحلة(4): ربح هوائي الإرسال (Transmitter Antenna Gain):** يتم حساب ربح هوائي الإرسال في

هذه المرحلة حيث القيمة العظمى للربح تكون باتجاه المستقبل (القيمة العظمى للمخطط الإشعاعي تكون باتجاه المستقبل).

**المرحلة(5): تأخير الانتشار (Propagation Delay):** يتم في هذه المرحلة تحديد الزمن الذي تستغرقه

الرزمة لتنتقل من المرسل إلى المستقبل، يتم حساب هذا الزمن من خلال المسافة بين المرسل والمستقبل والسرعة التي تنتشر خلالها الإشارة (سرعة الضوء) وتعتبر هذه المرحلة الأخيرة من الإرسال. يعرف زمن الانتشار أيضاً (propagation time) بتأخير الانتشار وهو الزمن الذي تستغرقه الإشارة لتنتقل من المرسل إلى المستقبل حيث تنتشر الأمواج الراديوية بسرعة الضوء في الخلاء ( $c=3*10^8$  m/s) ولحساب زمن الانتشار نستخدم العلاقة ( $t_p = \frac{D}{c}$ ) حيث أن D هي مسافة الانتشار و C هي سرعة الضوء.

**المرحلة(6): ربح هوائي الاستقبال (Receiver Antenna Gain):** عند التوافق في المخطط الإشعاعي

بين الهوائيين، يتم حساب ربح هوائي الاستقبال بنفس طريقة ربح هوائي الإرسال، يتم توليد الشعاع بين المرسل والمستقبل ومن خلاله يتم حساب ربح هوائي الاستقبال، ولا بد من التنكير هنا أنه في النظام المصمم لدينا استخدمنا هوائي مثالي (Isotropic) لأجل العقدة المرسل والمستقبل والمشوشة (تمثل في ربح الهوائي في جميع الاتجاهات).

**المرحلة(7): قدرة الاستقبال (Received Power):** بعد مرحلة هوائي الاستقبال، يتم حساب القدرة

المستقبلية، تمتلك هذه المرحلة وظيفتين أساسيتين: الأولى هي حساب القدرة لأجل جميع الإشارات القادمة والثانية هي تحديد الإشارات القادمة الصحيحة، حينها ينتخب المستقبل الإشارة السليمة ويعتبر بقية الإشارات القادمة كإشارات

تداخل (فصل الإشارة المرغوبة عن باقي الإشارات)، فالقدرة المستقبلية تصبح حينئذ تصبح قدرة الإشارة في مرحلة نسبة الإشارة إلى الضجيج.

**المرحلة(8): ضجيج التداخل ( Interference Noise ):** يتم حساب ضجيج التداخل في النظام ابتداء من هذه المرحلة بواسطة الإشارات التي لم يتم تفكيك ترميزها من قبل المستقبل، حيث يتم في مرحلة ملائمة القناة تحديد فيما إذا كانت الإشارة مفيدة (Valid) أم غير مفيدة (invalid) أو ضجيج (interference)، وفي حال كانت الإشارة مفيدة يتم تفكيك ترميزها (decoded)، وفي حال لم تكن مفيدة يتم تجاهلها أو يتم حساب كمية الضجيج الذي تضيفه الإشارة في الحزمة الترددية وتتخذ هذه المرحلة لأجل كل الإشارات التي تتداخل مع الإشارة المفيدة (valid signal).

**المرحلة(9): الضجيج الثانوي (Background Noise):** تفترض هذه المرحلة وجود ضجيج ضمني ثابت ومصدر ضجيج ثانوي ثابت وثالثاً ضجيج حراري ثابت لدى المستقبل، يتم حساب الضجيج باستخدام قدرة الكثافة الطيفية في حزمة الإرسال أما بالنسبة للضجيج الحراري فيتم حسابه من خلال ثابت بولتزمان (K) مع درجة حرارة (T)290K، يتم ضرب هذا الضجيج عندئذ بعرض الحزمة الداخلية (B) ويكون أساساً لحساب ربح هوائي المستقبل.

**المرحلة(10): نسبة الإشارة إلى الضجيج ( Signal to Noise Ratio ):** يتم حساب نسبة الإشارة إلى الضجيج، إن القدرة المستقبلية التي تم حسابها في المرحلة 7 يتم اعتبارها كقدرة الإشارة، عندئذ يتم تقسيم قدرة الإشارة (signal power) إلى مجموع من ضجيج التداخل (interference noise) والضجيج الثانوي (background noise)، إن نسبة الإشارة إلى الضجيج يتم تحويلها بعد ذلك إلى مستوى الديسيبل (decibel scale) الذي يستخدم لتمثيل القيم الخطية (تيار، جهد) أو تربيعية (استطاعة) بأخذ لوغاريتم القيمة، تنفذ هذه المرحلة في كل مرة يتم فيها حساب الضجيج الثانوي والتداخلي.

**المرحلة(11): معدل خطأ البت ( Bit Error Rate ):** يتم هنا استنتاج معدل خطأ البت من النسبة SNR ومخطط التعديل المستخدم، إن قيمة SNR المستخدمة هي SNR الفعالة وتكون هي SNR المحسوبة في المرحلة 10، إضافة إلى ربح المعالجة المرافق لعرض الحزمة ومعدل البيانات.

**المرحلة(12): توزيع الخطأ (Error Allocation):** يتم حساب BER من المرحلة السابقة، وطول الرزمة المستخدم لتحديد عدد الأخطاء في الرزمة.

**المرحلة(13): تصحيح الخطأ (Error Correction):** تحدد المرحلة الأخيرة فيما إذا ترميز تصحيح الخطأ (error correction code) هو قوي بما يكفي لتصحيح الأخطاء في الرزمة، يتم في هذه المرحلة مقارنة عدد الأخطاء في الرزمة مع الحد المسموح به من بارامترات المحاكاة، وفي حال كان عدد الأخطاء أكبر من الحد المسموح به حينها سيتم اعتبار الرزمة غير سليمة، وإلا فالرزمة تعتبر سليمة. عندما تجتاز الرزمة المراحل السابقة يتم حينها تسليمها بنجاح إلى المستقبل، يتم استخدام هذا المخطط لأجل كل رزمة يتم إرسالها يعتبر هذا المخطط بمثابة نواة المحاكاة اللاسلكية، ومن دونه تكون الاتصالات غير متاحة.

## 5.2. مراحل PipeLine من نقطة إلى نقطة [5]: يوضح الشكل (3) هذه المراحل وهي على التوالي:

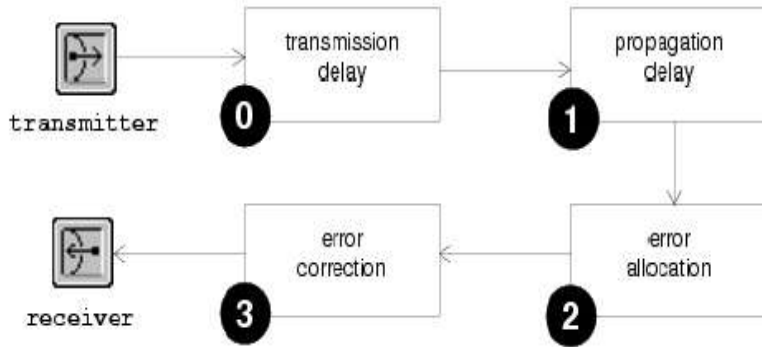
1. تأخير الإرسال (Transmission delay): تحسب من حجم الرزمة ومعدل المعطيات.

2. تأخير الانتشار (Propagation delay): تحسب من نوع الوصلة والمسافة.

3. تحديد الخطأ (Error allocation): يحسب عدد البتات الخاطئة في الرزمة.



4. تصحيح الخطأ ( Error correction ): يقبل أو يرفض الرزمة (مثلاً البتات الخاطئة، إمكانية تصحيح الخطأ).



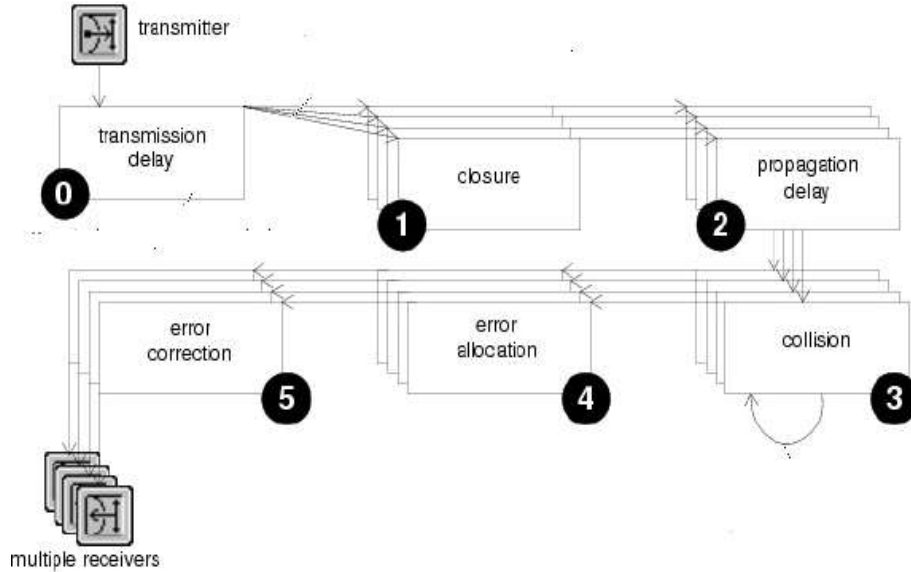
الشكل(3): مراحل PipeLine من نقطة إلى نقطة [5]

5.3. مراحل باص PipeLine [5]: يوضح الشكل ( 4 ) هذه المراحل وهي كمايلي:

1. الإقفال (Closure): يعيد صح ( true ) لأجل المستقبل في حال كان قادراً على الاستقبال من المرسل وتنفذ هذه المرحلة بشكل مستقل لأجل كل مستقبل.

2. التصادم (Collision): تحدد فيما إذا حدث تداخل في الزمن بين رزمتين عند طرفية المستقبل، تسجيل رقم

التصادمات لأجل كل رزمة.



الشكل(4): مراحل باص PipeLine [5]

الجدول(1): قيم  $\frac{S}{N}$  الأصغرية لأجل مخططات التعديل المحددة [6]

Modulation Scheme	M	Minimum $\frac{S}{N}$	$SNR_{dB}$
BPSK	2	3	4.77
QPSK	4	15	10.76
8PSK	8	63	18

## 6. نسبة الإشارة إلى الضجيج (Signal to Noise ratio)

تتعلق قيمة  $\frac{S}{N}$  بمخطط التعديل المستخدم حيث أن مخططات التعديل التي تم اختيارها هي BPSK، QPSK و 8PSK. في حين أنه يتم التعبير عن قيمة الحد الأدنى للنسبة SNR الخاصة بمخططات التعديل بالمصطلح (minimum  $\frac{S}{N}$ ) وهي القيمة الصغرى المسموح بها للنسبة  $\frac{S}{N}$  والتي من الممكن حسابها من معادلة شانون  $(1 + \frac{S}{N})$  وصيغة معدل البت الأعظمي  $C \geq 2B \log_2(M)$  حيث  $C$  هي معدل البت الأعظمي (bps) و  $B$  هو عرض حزمة النظام و  $M$  هو عدد الرموز المستخدمة وباستبدال المعادلة الأولى بالثانية نحصل على  $\frac{S}{N} = 1 + M^2$ ، وباستخدام المعادلة السابقة من الممكن حساب الحد الأدنى للنسبة  $\frac{S}{N}$  لأجل مخططات التعديل المستخدمة وعلى اعتبار أن مخططات التعديل المذكورة سابقاً هي Bpsk، Qpsk، 8psk. حيث يستخدم نموذج التعديل رمزين في حين يستخدم QPSK أربعة رموز أما 8PSK يستخدم 8 رموز وباستبدال  $M=2$  في المعادلة السابقة يكون لدينا  $\frac{S}{N} = 2^2 - 1 = 3$ .

$SNR_{dB} = 10 \log(\frac{S}{N}) = 4.77 \text{ db}$ ، أي أننا نحتاج إلى الحد الأدنى  $SNR_{dB}$  أن تكون قيمته 4.77db لاستخدام مخطط التعديل BPSK، وهنا نبين في هذا الجدول (1) القيم الصغرى لهذه النسبة لأجل مخططات التعديل المستخدمة. إن (Minimum SNR) المطلوبة لأجل مخطط التعديل لكي يعمل وبدون وجود هذا الحد الأدنى فلن يكون بمقدورنا ضمان إجراء اتصال موثوق [6].

### 6.1. حساب قدرة الضجيج (Noise Power Calculation):

أي نظام ضجيج التداخل (Interference Noise) والضجيج الثانوي (Background Noise) والضجيج الضمني (Noise Ambitious)، حيث يتم حساب SNR وفق العلاقة التالية:  $SNR = 10 \log(\frac{P_R}{N_{tot}})$  db [5-6].

### 6.2. مصادر الأخطاء (source of errors):

هناك نوعان أساسيان من أخطاء الإرسال في نظام الاتصالات اللاسلكية هما أخطاء البت المنفرد وأخطاء الرشفة. تنتج أخطاء البت المنفرد من ضجيج النظام، يتم نمذجة هذا الضجيج كعملية غاوسية، ويتم تكميته في النسبة SNR للوصلة، يتم تعريف الضجيج كظاهرة عشوائية وبناء عليه لا يكون هناك من طريقة لتوقعه أو حسابه في لحظة ما أو إمكانية تحديد أي بت من المعطيات سيكون هو البت الخاطئ. في حين تعتبر أخطاء الرشفة هي الأخطاء الأكثر شيوعاً في الاتصالات اللاسلكية من أخطاء البت المنفرد، تحدث أخطاء الرشفة عندما تتخرب مجموعة شاملة من البتات بنفس الوقت، إن مصدر أخطاء الرشفة سيكون مختلفاً كلياً عن الأدوات اللاسلكية التي ترسل وفق نفس الحزمة الترددية، تحصل الأخطاء على شكل رشقات أكثر من حدوثها على صيغة بتات منفردة، تتجلى هذه الفائدة في حال حدوث خطأ الرشفة وكون البيانات المرسل على شكل مجموعات (Blocks)، سيكون فقط واحد أو اثنان من البلوكات بحاجة إلى عملية إعادة إرسال، فعلى سبيل المثال في حال أن خطأ البت المنفرد سيحدث كل ألف بت، وإذا كانت كتلة البيانات المرسل هي أكبر من ألف بت فإن كامل كتلة البيانات سيتم إعادة إرسالها في حال عدم استخدام تصحيح الخطأ [6].

## 7. مخططات التعديل

من الممكن استخدام العديد من تقنيات التعديل الرقمي، ليس هناك من خيار مفضل وعام للمخطط لكن بناء على الميزات الطبيعية للقناة والأداء المطلوب والعتاد الصلب، إن التعديل الترددي أو المطالي أو الطوري لبتات المعلومات للموجة الحاملة هي أكثر تقنيات التعديل الرقمية الأساسية: فمثلاً مفتاح الازاحة الطوري الثنائي (BPSK)،

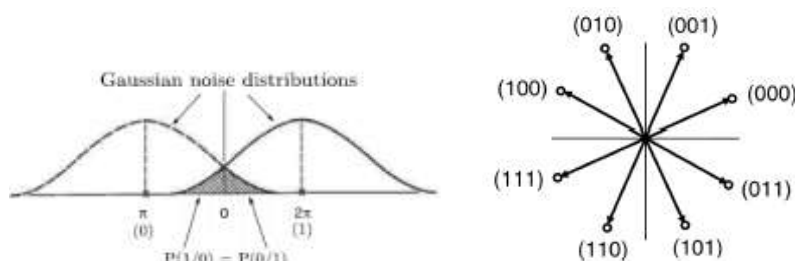
مفتاح الإزاحة الطوري التربيعي (QPSK)، مفتاح الإزاحة الطوري من الدرجة M (MPSK)، التعديل المطالي التربيعي (QAM)، حيث يعتبر 8PSK، QPSK، BPSK من أكثرها شيوعاً [7].

### 7.1.1 مفتاح الإزاحة الطوري الثنائي (Binary Phase Shift Keying) BPSK: يعتبر

BPSK من أكثر مخططات التعديل وثوقية في الاتصالات اللاسلكية ويكون ذلك بسبب وجود رمزين فقط كل منها بعيد عن الآخر، بما يعني أنه بمقدوره مقاومة الكثير من الضجيج مقارنة بأنماط التعديل الأخرى، وعند اختيار معدل البود للنظام 76Kbd عندها يتم حساب المعدل كالتالي:  $C = R \log_2(M)$  مما يعني أن  $C = 76 \text{K} \log_2(2)$  أي  $C = 76 \text{Kbps}$ ، حيث تعبر C عن معدل نقل المعطيات R هو معدل البود، M عدد الرموز المستخدمة، وهكذا بمقدور نظام BPSK أن يرسل حتى معدل 76kps.

#### 7.1.1.1 منحنى التعديل (Modulation curve): إن معدل خطأ البت (BER) لنظام BPSK من الممكن

اشتقاقه من ميزات قناة الضجيج الغاوصية في مجال الطور، نلاحظ من الشكل (5) أن التكامل الموجود حول منطقة التقاطع يعطي احتمال خطأ البت.



الشكل (6): مخطط حالة الطور لتقنية التعديل 8PSK [6] الشكل (5): منطقة خطأ البت لقناة ذات توزيع غاوصي للضجيج [6]

### 7.2 مفتاح الإزاحة الطوري الرباعي (Quadrature Phase Shift Keying) QPSK

(: عند استخدام عرض حزمة مطابق لنظام BPSK فإن نظام QPSK سيكون لديه معدل معطيات مضاعف لبPSK، ويكون ذلك بسبب مجرى بنات الدخل المحول إلى 2-BIT Symbols (بتين) والذي يتم استخدامه لتعديل طور الموجة الحاملة. وهذا ما يجعل QPSK أكثر مثالية ووثوقية عند مقارنته مع BPSK. وذلك بسبب أن عدد الرموز المستخدمة والمشار إليها بالرمز M والتي تكون أربعة أكثر من بتين كما هي الحالة في BPSK. لحساب معدل النقل  $C = R \log_2(M)$  وبالتعويض نجد أن  $C = 76 \log_2(4) = 152 \text{kbps}$ ، حيث أن C معدل المعطيات و R معدل البود و M عدد الرموز، وتبين النتيجة أن QPSK له معدل أعلى [7].

#### 7.2.1 منحنى التعديل: إن منحنى BER لـ QPSK هو مماثل لـ BPSK، إن عنصر الضجيج داخل

الطور (in phase component) سيؤثر فقط بعنصر الإشارة داخل الطور وعناصر الضجيج التربيعية لعنصر الإشارة التربيعي، وهذا لأجل نفس معدل المعطيات مما يعني أن لكل من BPSK و QPSK لديهم نفس معدل خطأ البت لأجل نفس بيئة الضجيج المعتبرة [7].

### 7.3 مفتاح الإزاحة الطوري من الدرجة (M-ary Phase Shift Keying) 8PSK

(MPSK): يمتلك 8PSK ثلاث بنات لأجل كل رمز ويتطلب عرض حزمة للإرسال تعادل  $\frac{1}{3}$  لبPSK للإرسال لأجل نفس معدل البيانات لبPSK. إن مخطط الحالة الطورية لـ 8PSK مبين في الشكل (6)، بسبب تزايد عدد الرموز يكون من غير الممكن ضبط الحالات الطورية بحيث تكون متعامدة مع بعضها لذلك تلزماً قدرة إضافية للحفاظ على

نفس مستوى الأداء العام كما هو الحال في QPSK و BPSK. حيث يحتاج 8PSK ضعف القدرة مقارنة بـ BPSK و QPSK لتحقيق نفس مستوى الأداء ضمن نفس شروط الوصلة، وذلك يعود إلى أنه في 8PSK فإن اختلافات الطور بين الرموز تتناقص كما هو مبين في مخطط حالة الطور وبالنتيجة في حال تمت مضاعفة المطال بمعامل (2) وجعل المسافة بين الرموز تكون مشابهة لما هو في BPSK و QPSK وبالنتيجة ستعطي نفس معدل BER على خرج المعدل. إن 8PSK هو مخطط تعديل هام وذلك بسبب عدد البتات في الرمز حيث أن هذه البتات الزائدة يتم استخدامها في ترميز تصحيح الخطأ ( error correction data ) التي تعطي ربح ترميز 3db. إن حساب معدل المعطيات لـ 8PSK كالتالي:  $C = R \log_2(M)$ ; حيث  $C = 76K \log_2(8) = 228Kbps$   $C$  هو معدل البت، و  $R$  هو معدل البود و  $M$  هو عدد الرموز أي أن معدل المعطيات في 8psk هو أعلى من BPSK و QPSK [7].

**7.3.1. منحنى التعديل:** عند مقارنة 8PSK مع BPSK و QPSK نلاحظ أنه لتحقيق نفس قيمة BER لأجل 8PSK كما في QPSK و BPSK نحتاج إلى زيادة قدرة الإرسال وذلك لتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج. مثلاً لأجل  $BER = 10^{-6}$  يحتاج كل من BPSK و QPSK نسبة إشارة إلى ضجيج حوالي 11db فقط. لكن نظام 8PSK سيحتاج نسبة إشارة إلى ضجيج 14db وذلك لأن معدل المعطيات المتزايد لـ 8psk يأتي مع الحاجة إلى زيادة قدرة الإرسال [7].

#### 7.4. النسبة BER الصغرى (Minimum BER): يعد معدل خطأ البت (bit error rate) الذي

يرمز إليه بالمختصر BER مقياساً آخر لمقارنة أنواع التعديل الرقمي، وهو سجل تجريبي لأداء الخطأ في نظام معين، إن أي نظام اتصالات لاسلكي يتم تصميمه لتلبية خصائص أداء محددة، ولأجل الاتصالات الرقمية فإن أكثر الخصائص أهمية هي BER [8] ، فعلى سبيل المثال عندما تأخذ  $BER = 10^{-6}$  فهذا يعني أنه لأجل مليون بت يتم إرسالها سيتم السماح باستقبال بت واحد فقط سيكون خاطئاً، ولأجل BER تكون أكبر من  $10^{-6}$  سيتم تجاهل المعطيات المستقبلية [6]، يتعلق معدل خطأ البت بنوع النظام وعدد الحالات  $M$  ونسبة طاقة البت إلى الضجيج ( $E_b/N_0$ ) أو نسبة استطاعة الحامل إلى الضجيج ( $C/N$ )، ومن أجل احتمال خطأ معين تختلف النسبة المطلوبة الصغرى لنسبة الحامل إلى الضجيج ( $C/N$ ) وكلما ارتفع مستوى الترميز (عدد الحالات) ارتفعت النسبة المطلوبة الصغرى [8,9]. يبين الجدول (2) قيم minimum SNR المطلوبة لتحقيق BER من  $10^{-6}$  لأجل كل مخطط تعديل، إن كلاً من BPSK و QPSK لديه minimum SNR قريبة من 11dB أما لأجل 8PSK فإن قيمة أعلى تكون مطلوبة مما سيخفض من كمية الزمن التي تحدث الاتصالات خلالها [6,8].

الجدول(2): قيم Minimum SNR لتحقيق BER على الأقل من  $10^{-6}$  لأجل BPSK, QPSK و 8PSK [6]

Modulation Scheme	BER	Minimum SNR (dB)
BPSK	$10^{-6}$	11
QPSK	$10^{-6}$	11
8PSK	$10^{-6}$	14

#### 7.5. منحنيات التعديل في Opnet (Opnet modulation curves): يوصف منحنى

التعديل اعتمادية BER للإرسال الراديوي على SNR، تمثل منحنيات التعديل بجدول التعديل، إن جدول التعديل هو قائمة تربط بين قيم SNR إلى قيم BER وتقارب هذه إلى منحنى تعديل مستمر، إن هذه القيم تكون في صيغة جدول،

يطابق المحاكي قيمة BER مع قيمة SNR المقابلة لدى المستقبل، وبسبب أن محرر منحنى التعديل يستخدم طريقة الجرافيك لتعريف منحنى التعديل فالنتائج قد تكون غير دقيقة نوعاً ما لكن تبقى ضمن الحدود المقبولة [6].

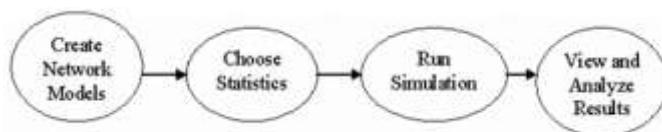
### 7.6. حساسية المستقبل (Receiver sensitivity):

من القدرة المستقبلية الذي يكون المستقبل قادراً على استقبالها كإشارة مفيدة، إنها تابع لمخطط التعديل (modulation scheme) والقيمة الصغرى لمعدل خطأ البت (minimum BER) وشكل الضجيج (noise figure) [5-6].

### 7.7. سيناريو المحاكاة:

يتم بناء الشبكة الجديدة من خلال المحرر الخاص ببناء المشروع وتحديد قيم الثوابت مباشرة من الشبكة التي تمت محاكاتها، وتنفيذ المحاكاة واستعراض النتائج كما هو في الشكل (7). ينطوي سيناريو المحاكاة على تصميم العقدة المرسل (transmit node) والمستقبلة (Receive node) وتصميم العقدة المشوشة (jammer node) التي تتحرك وفق شعاع حركة مدروس مسبقاً يقترب وفقه مصدر التشويش من العقدة المرسل ثم يبتعد عنها باتجاه العقدة المستقبلية، حيث يتم تقييم بارامترات النظام اللاسلكي المدروسة لأجل ذلك من جودة الإشارة المستقبلية ومعدل خطأ البت تحت تأثير الضجيج وانتاجية الوحدة المستقبلية، أما المعطيات التصميمية الخاصة بالعقد المصممة: يستخدم هوائي مثالي (isotropic) لأجل إرسال واستقبال الإشارة الراديوية حيث يحسب الريح بناء على خصائص الهوائي. يتم حساب القدرة المستقبلية (Received Power) بناء على نمط الانتشار في الفراغ الحر للإشارة الراديوية وفق المعادلة التالية  $P_{RX} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) * P_{TX} * G_{RX} * G_{TX}$  إن ضجيج التداخل (Interference Noise) في الزمن مع الرزمة P، إن ضجيج التداخل (Interference noise) هو مجموع الاستطاعة المستقبلية للزخم المشوشة. تعرف نسبة الإشارة إلى الضجيج بالمعادلة:  $SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{RX}}{i_{noise} + bkg\_noise} \right)$ . إن البارامتر موضع الخطأ (Error Allocation) يحسب عدد البتات الخاطئة من BER وطول الرزمة. تصحيح الخطأ (Error Correction) إذا كان عدد البتات الخاطئة بالنسبة لطول الرزمة أكبر من العتبة ecc ( $bit\ errors/pkt\ length > ecc\ threshold$ ) يتم رفض الرزمة وإلا سيتم استقبالها في خلاف ذلك. أما تأخير الإرسال (Transmission Delay) فيعطى بالعلاقة التالية:  $\frac{pkt\_length}{data\_rate}$  [5].

لقد تم تطبيق نماذج مختلفة من مخططات التعديل هي 8PSK، BPSK QPSK و قدرة إرسال 5W، 10 W ومحاكاة توليد رزم الشبكة وانتقال الرزم لاسلكياً من العقدة المصدر إلى العقدة الهدف. ثم مراقبة وحفظ بارامترات القناة اللاسلكية لتقييمها لاحقاً.

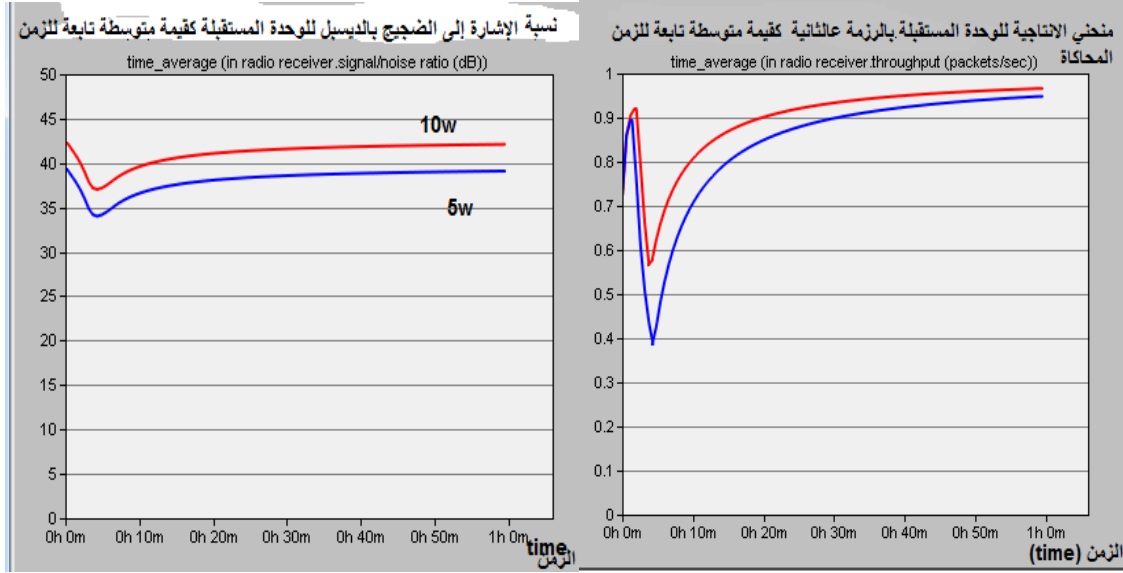


الشكل (7): مراحل بناء المشروع في Opnet [3]

## النتائج والمناقشة

قبل مناقشة نتائج المحاكاة لابد من تعريف بعض المصطلحات التالية: الإنتاجية (throughput): إنها تعبر عن كمية المعطيات المستلمة بنجاح مقسوماً على زمن المحاكاة. الفعالية (Efficiency): يتم حسابها من خلال عدد البتات المسلمة بنجاح على العدد الإجمالي من البتات المرسل. متوسط التأخير من نهاية إلى نهاية Average delay (end to end): هو الزمن الفاصل بين إرسال الرزمة وتسليم الرزمة إلى الهدف.

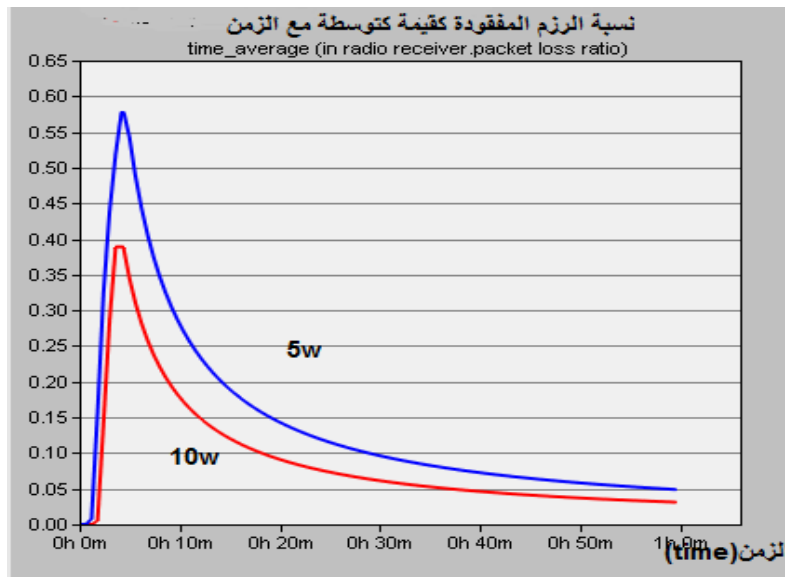
**8.1. استخدام قدرة إرسال بديلة (Transmission power alternatives):** يتبين بالمقارنة أن نظام باستطاعة إرسال 10w لديه إنتاجية أعلى من نظام بـ 5w، كما هو مبين في الشكل ( 8)، من الممكن أن نتوقع أن استطاعة إرسال أعلى تعني أن SNR مستقبلية أعلى كما هو مبين الشكل ( 9)، ويمكن أن نعلل التحسن في منحنى الإنتاجية عند زيادة استطاعة الإرسال بسبب تحقيق نسبة نجاح أعلى في تسليم الرزم المعطيات.



الشكل (9) منحنى نسبة الإشارة إلى الضجيج

الشكل(8): منحنى إنتاجية الوحدة الراديوية المستقبلية

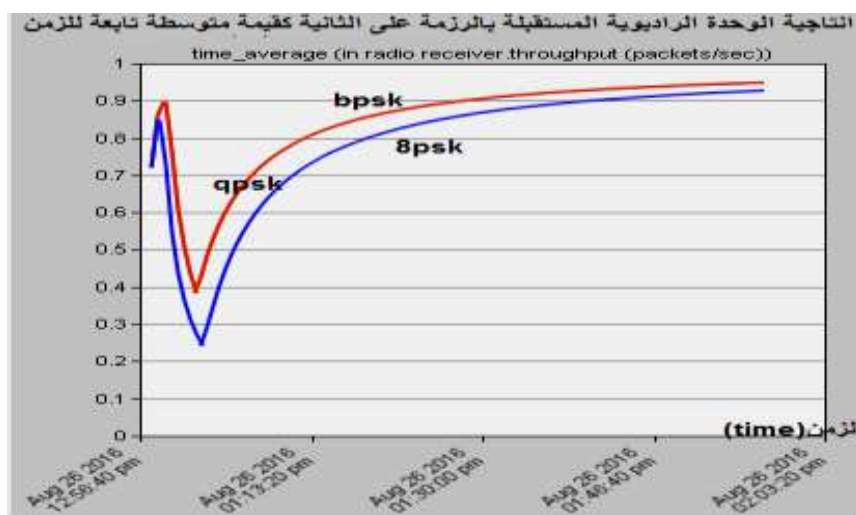
**8.2. الرزم غير المسلمة (undelivered packets):** يوضح الشكل ( 10) منحنى نسبة فقد الرزم، فعند زيادة استطاعة الإرسال من 5w إلى 10w نلاحظ زيادة في عدد الرزم المستقبلية بنجاح عندما يكون تأثير الإشارة المشوشة هو الأعلى أثناء تقدم زمن المحاكاة، الأمر الذي يعكس تأثيراً أقل بالضجيج مع زيادة استطاعة الإرسال، حيث ينعكس إيجابياً على الفعالية. أما التأخير (End to End Delay) فيبدي ثبات عند قيمة ثابتة (1) على اعتبار ثبات حجم الرزمة (1024 bits) ومعدل نقل المعطيات (1 packet/sec) والمسافة بين المرسل والمستقبل (Distance).



الشكل(10): منحنى الرزم الغير المسلمة

### 8.3. تأثير حجم الرزمة (Influence of packet sizes on modulation scheme): في حالة توليد

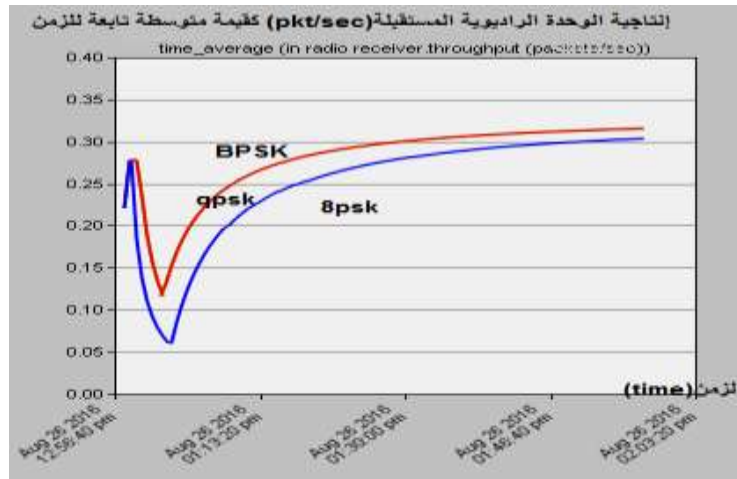
رزم ذات حجوم صغيرة ( Small packet sizes ) مثلاً ( 1024bit ) وتغيير مخطط التعديل ( Varying the modulation scheme )، مع ثبات المسافة بين المرسل والمستقبل والاستطاعة المستخدمة في الإرسال إضافة إلى معدل إصدار الرزم من قبل العقدة المرسل ( 1packet/1sec )، نلاحظ ولأجل مخطط التعديل BPSK فإن أداء الإنتاجية يكون أفضل من ذلك لـ QPSK، 8PSK، تتخفف الإنتاجية قليلاً عندما يتم تغيير مخطط التعديل إلى QPSK والذي يكون غير مدرك بالنظر على الأخرى كما يبين الشكل (11)، اللون الأزرق لتعديل 8psk، الأحمر لتعديل BPSK، الأخضر لتعديل QPSK، بسبب معدل المعطيات الأعلى لـ QPSK، تتخفف الإنتاجية أكثر نوعاً ما عند الانتقال إلى 8PSK، إن السبب في انخفاض الإنتاجية عند تغيير مخطط التعديل من BPSK إلى QPSK هو انخفاض الزمن المستغرق لإرسال الرزمة بسبب تزايد معدل المعطيات، إن رزم أكثر يتم إرسالها في فاصل زمني محدد يعني ضجيج أكثر في النظام، إن الانخفاض في الإنتاجية عند الانتقال من QPSK إلى 8PSK يكون بشكل أساسي كنتيجة لإطار زمني أقل متاح لحدوث الاتصالات بسبب معدل SNR صغرى ( minimum SNR ) أعلى تكون مطلوبة بسبب مخطط التعديل 8PSK كما هو موضح في الجدول (2). إن السبب الثاني هو نفسه كما في الانتقال من BPSK إلى QPSK، إن كلا هاذين العاملين يؤثران بشكل عكسي على مخطط التعديل 8PSK ويؤديان إلى انخفاض الإنتاجية.



الشكل(11): منحنى الإنتاجية عند حجم رزمة 1024bit

#### 8.3.1. تأثير حجم رزم المعطيات الكبيرة (Large packet sizes): إن حجم أكبر للرزم المرسل يعني أن

هناك أخطاء أكثر من الممكن تصحيحها، وعلى اعتبار أن قيمة ( ecc=0.0 ) فهناك انخفاض في الإنتاجية وزيادة في معدل خطأ البت لدى المستقبل الشكل (12)، حيث اللون الأزرق للتعديل 8psk واللون الأحمر لتقنية التعديل BPSK و والأصفر لـ QPSK استطاعة إرسال 5w.



الشكل(12): منحنى الإنتاجية عند حجم رزمة 2048 bit



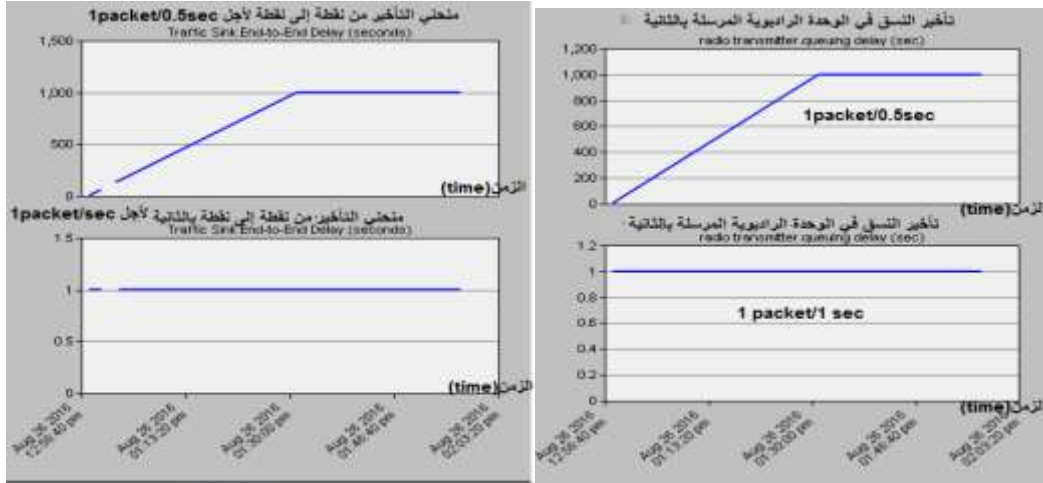
الشكل(13): منحنى الرزم المفقودة لأجل حجم رزمة مرسلة متغير

نلاحظ أيضاً أن انخفاض الإنتاجية يكون متوازماً مع تزايد معدل فقد الرزم كما هو مبين في الشكل (13)، عند تطبيق تقنية التعديل BPSK مع استطاعة إرسال 5W، والسبب وراء ذلك أنه مع وجود رزم أكبر تكون أكثر عرضة لأخطاء البت وعلى اعتبار أن قيمة البارامتر (ecc=0.0)، بما يعني مع أنه سيتم رفض الرزمة بمجرد وجود بت خاطئ واحد على الأقل، هناك عدد رزم غير مسلمة متزايد مع تزايد حجم الرزمة.

#### 8.4 متوسط التأخير من نقطة إلى نقطة (Average ETE delay): عند تزايد حجم الرزمة، يتزايد متوسط

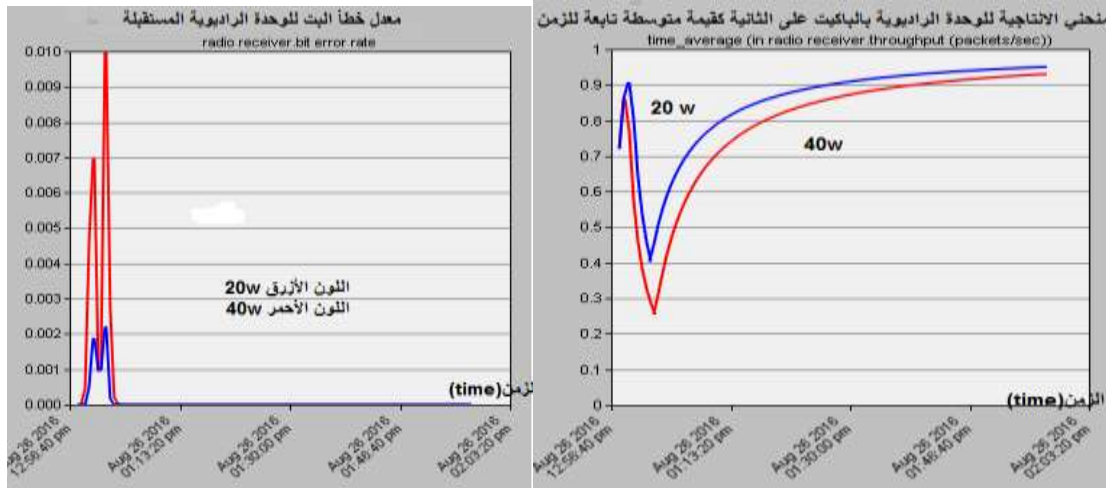
ETE، إن حجم رزمة أكبر يعني زمن أطول يكون مستغرقاً ليتم إرسال الرزمة إلى الهدف، وبالنتيجة متوسط التأخير ETE يتزايد. عند زيادة معدل تدفق المعطيات (يتم إرسال رزمة بحجم 1024b كل 0.5 sec) مثلاً، نلاحظ تزايد التأخير من نقطة إلى أخرى الشكل(14) وتأخير الانتظار في النسق الشكل(15) بشكل ملحوظ.





الشكل(15): منحني تأخير النسق في وحدة الإرسال الشكل(14): منحني التأخير من نقطة إلى نقطة

عند زيادة استطاعة العقدة المشوشة من 20w إلى 40w يتفاوت درجة تأثر منحنيات التعديل بناء على هذا التغير في قيمة المعامل. بالنسبة إلى BPSK مثلاً، تنخفض الإنتاجية الشكل ( 16) ويرتفع معدل خطأ البت الشكل(17)، وبالنتيجة نسبة الإشارة إلى الضجيج والإنتاجية.

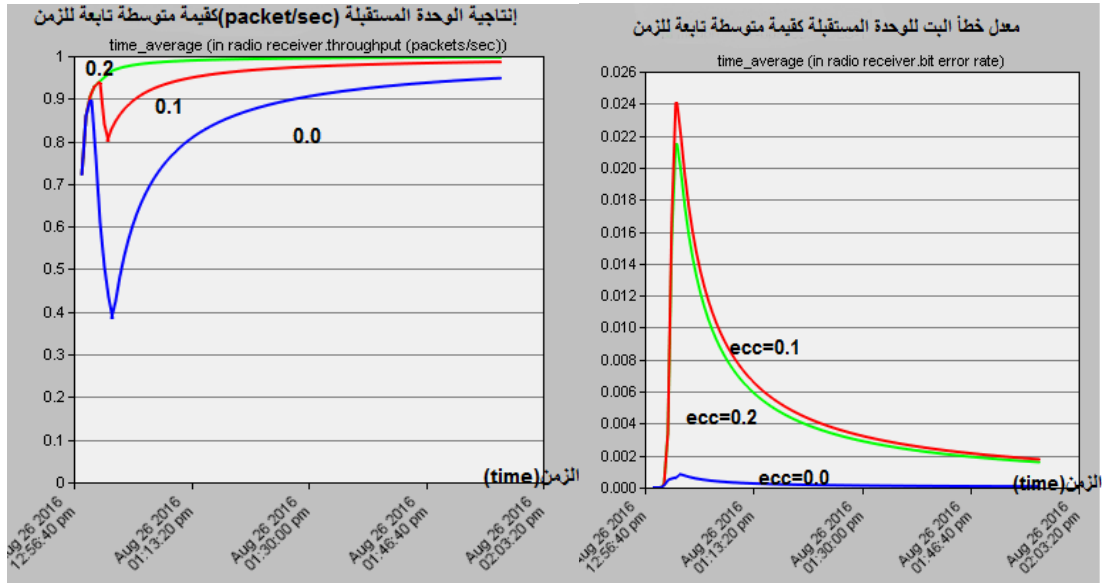


الشكل(17): منحني خطأ البت للوحدة الراديوية المستقبلة

الشكل(16): منحني الانتاجية للوحدة الراديوية

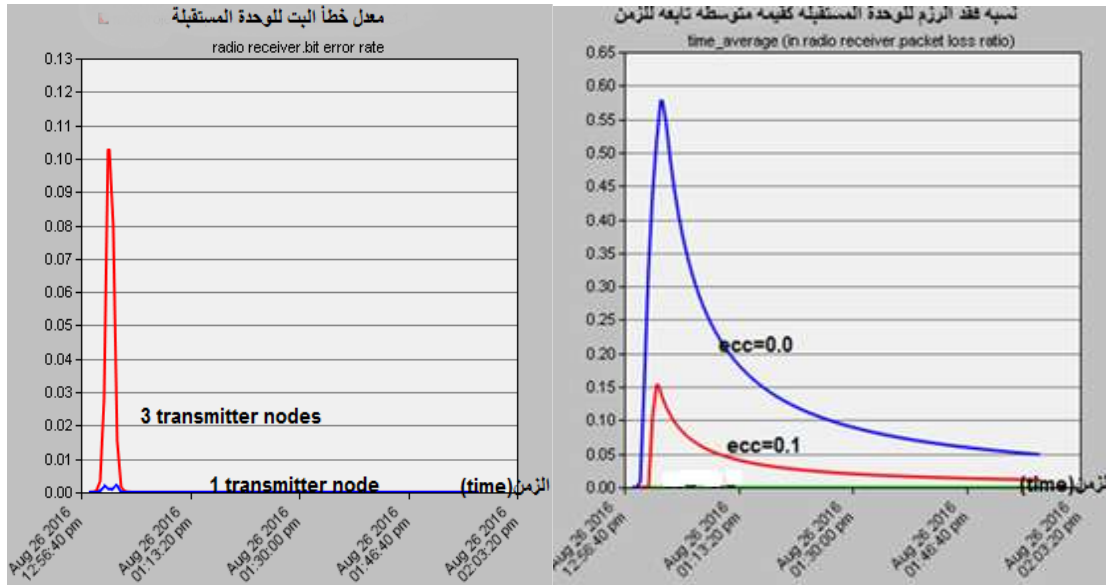
### 8.5. تأثير المعامل (ecc): عند استخدام التعديل bpsk وسماحية الخطأ على التوالي (ecc=0.0, 0.2,0.1)

تتحسن الإنتاجية بشكل ملحوظ الشكل ( 18)، ويعود ذلك إلى وجود سماحية قبول للزخم المستقبلة التي لديها نسبة مقبولة من البتات الخاطئة، تحدد قيمة هذه النسبة بواسطة المعامل ecc.



الشكل (19): منحنى معدل خطأ البت لأجل قيم مختلفة للمعامل ecc الشكل (18): منحنى الإنتاجية لقيم متعددة من البارامتر ecc

كما يرتفع معدل خطأ البت للوحدة الراديوية المستقبلية كما هو موضح بالشكل (19)، فأجل القيمة (ecc=0.1) يشير إليه اللون الأحمر بمعنى أنه يوجد عدد أكثر من الرزم المستقبلية والتي فيها بت خاطئ واحد فقط، وبالمقابل نلاحظ انخفاض نسبة فقد الرزم كما هو موضح في الشكل (20) مع تزايد هامش القبول للرزم الخاطئة.



الشكل (21) منحنى خطأ البت لثلاث مرسلات مقابل مرسل واحد

الشكل (20): نسبة فقد الرزم

عند زيادة عدد الوحدات المرسل إلى ثلاث بدلاً من واحد مع وجود وحدة استقبال فقط وتطبيق نفس شروط الضجيج في بيئة الاتصال (استطاعة إرسال 5W، نمط تعديل BPSK)، يكون من الواضح بناء على ذلك زيادة معدل خطأ البت وانخفاض الإنتاجية بسبب زيادة التداخل بين الرزم المرسل. يوضح الشكل (21) معدل خطأ البت، حيث يشير اللون الأحمر إلى حالة استخدام ثلاث مرسلات.

### الاستنتاجات والتوصيات:

1. عند زيادة قدرة الإرسال للمحطة المرسل، تزداد معها الإنتاجية والفعالية ويتناقص عدد الرزم الغير مسلمة، وبالنتيجة تزايد قدرة الإرسال يعني تحسين الأداء العام للنظام.
2. إن زيادة حجم الرزمة المستخدمة يحسن من إنتاجية النظام وفعاليتها إلا أن وجود تشويش مطبق على الاتصال اللاسلكي ستكون درجة التأثير أكبر مقارنة بحجم رزمة أقل.
3. لا ينصح باستخدام مخطط التعديل 8PSK عندما تكون قدرة الإرسال منخفضة، وذلك لأن هناك قيمة أعلى للعتبة SNR (Minimum SNR) تكون مطلوبة لأجل قيمة محددة للمعامل BER، وسنحتاج في حال استخدامه في الاتصال اللاسلكي إلى زيادة استطاعة الإرسال لزيادة مقدار الإطار الزمني المتاح لحدوث الاتصالات، بمعنى آخر ضمان استمرارية الاتصال بين المرسل والمستقبل دون حدوث انقطاع أثناء فترة تبادل المعطيات، وبالنتيجة تحسين الأداء العام للنظام.
4. يمتلك كل من QPSK و BPSK نفس قيمة SNR صغرى إلا أن QPSK لديه معدل معطيات مضاعف الأمر الذي يعزز من أداء QPSK، يمتلك 8PSK معدل معطيات مضاعف لـ QPSK، لكن بالمقابل لديه minimum SNR أعلى مما يعني أن مخطط أداء QPSK يفوق أداء 8PSK. أي يقدم QPSK أداء أفضل من بقية مخططات التعديل.

### المراجع:

- [1] [http://www. OPNET Online Documentation: Wireless Mobile Networks LABORATORY3 16-10-2016.](http://www.OPNET Online Documentation: Wireless Mobile Networks LABORATORY3 16-10-2016)
- [2] AGHAREBPAST, F. *Simulation Methods for Wireless Networks :OPNET*. Department of Electrical & Computer Engineering The University of British Columbia EECE 569 - March 14, 2007.pp.28-30
- [3] SVENSSON,T; POPESCU,A. *Development of laboratory exercises based on OPNET Modeler*. Blekinge Institute of Technology June 2003,10-11
- [4] [http://www. OPNET Online Documentation: Simulating network coding in OPNET- Chapter 3.19-4-2013. pp.29.](http://www.OPNET Online Documentation: Simulating network coding in OPNET- Chapter 3.19-4-2013. pp.29)
- [5] GORDON,S.*OPNET Editors and Features*. Sirindhorn International Institute of Technology Thammasat University, June 2010,pp.19-30.
- [6] BEZUIDENHOUT, Q.*Satellite Communications Strategy selection for optimal LEO satellite communication*. Department of Electrical & Electroni Engineering, Stellenbosch University, December 2012
- [7] LATHI, P.B. *Modern Digital and Analog Communication Systems*, vol. Third Edition. Oxford University Press, 1998.
- [8] [http://www.Wikipedia.com/What is BER \\_ Bit Error Rate Tutorial \\_ Radio-Electronics.com.](http://www.Wikipedia.com/What is BER _ Bit Error Rate Tutorial _ Radio-Electronics.com)