الرياضيات اللاسلكية

RF Mathematics

مدونة فنجان لاسلكي

م نادر المنسي

الفصل الثاني من منهج إدارة الشبكة اللاسلكية CWNA

الرياضيات اللاسلكية

RF Mathematics

نادر المنسي

مدونة فنجان لاسلكي

wirelessset.com

1.2. RF Mathematics

1.2.1. Understand and apply the basic components of RF mathematics and measurement

1.2.1.1 Watt and milliwatt

1.2.1.2 Decibel (dB)

1.2.1.3 dBm, dBi and dBd

1.2.1.4 SNR

1.2.1.5 RSSI

1.2.1.6 System Operating Margin (SOM), fade margin and link budget

1.2.1.7 Intentional Radiator compared with Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP)

القياس و الوحدات في الشبكات اللاسلكية يرتبط بها أكثر مما يرتبط في أي مجال شبكي آخر و ذلك لأن الشبكة اللاسلكية تعتمد علي انتشار الموجات و التي لابد من معرفة مستوي قوتها علي مستوي انتشار الإشارة من أول ارسالها و حتي استقبالها

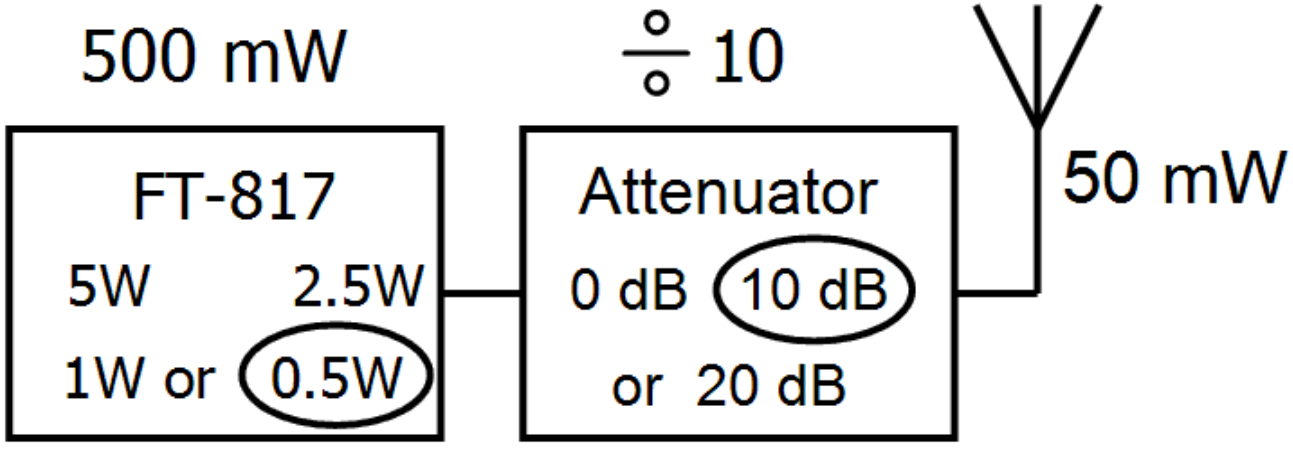
و تعتبر وحدة الوات watt هي الوحدة الأساسية لقياس الإشارة اللاسلكية المرسلة أو المستقبلة من جهاز ما و تسمي Absolute Measurements of Power

قد نحتاج وحدات أخري للتعبير عن التغير في الإشارة من فقد أو كسب عند دخولها أو خروجها من وسط ما تسمي Relative Measurements of Power

حيث أنه لن تسعفنا وحدات القدرة العادية مثل الوات بل نستخدم وحدات الديسيبل التي تعبر عن هذا التغير مثل dB و dBi و dBm وdBd

و سنتكلم عنها ان شاء الله حالا

1.2.1.1 Watt and milliwatt



الوات هو القيمة الفعلية للقدرة و سميت علي اسم العالم الاسكتلندي جيمس وات أحد علماء القرن الثامن عشر

و يعبر الواحد وات عن القدرة التي صنعها مرور تيار بقيمة واحد أمبير عبر فرق جهد مقداره واحد فولت

ولتقريب هذا الأمر سنأخذ مثال مضخة مياه تنظيف السيارات حيث يعتمد قوة خروج الماء من الخرطوم علي عاملين أولهما قوة ضغط المضخة و ثانيهما هو مقدار الماء الموجود في الخرطوم

وتعتبر القدرة هي قوة خروج المياه بينما يكون ضغط المضخة معبرا عن الجهد وأما التيار فيماثله الماء الموجود بخرطوم المضخة

تقاس القدرة من خلال هذه المعادلة

$P=V*I$

حيث تعتبر P هي القدرة وتقاس بوحدة الوات

Vهي الجهد الكهربي للإشارة voltage و يقاس بوحدة الفولتvolt

Iو التيار الكهربائي current و يقاس بوحدة الأمبيرA

الميللي وات

يعتبر المللي وات جزء من ألف جزء من الوات كما هو الحال مع المتر و المللي متر أو الكيلوجرام و الجرام فمثلا نقوم بالتعبير عن قدرة ارسال الأكسس بوينت ب30 mw أي 0.03 وات

و سبب استخدامه في شبكاتنا اللاسلكية الواي فاي و التي تعمل بمعايير 80.211 تكون قيم التعامل مع قدرة الإشارة في حدود أقل بكثير من الوات و ذلك للتعبير عن تكبير اشارة بواسطة هوائي أو اضمحلالها بواسطة كابلات

و غالبا ما تكون القدرة المستخدمة في اشارات شبكات الواي فاي ما بين 100 ميللي وات الي 200 ميللي وات اللهم فيما يختص بالشبكات اللاسلكية الخارجية point to point حيث تتعدي القدرة الي 250 ميللي وات

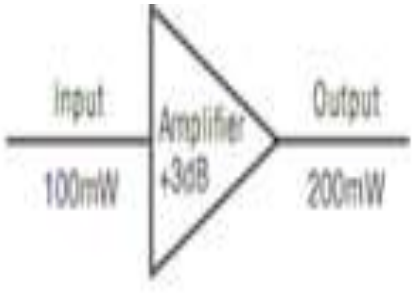
غالبا ما تتدخل الدول أو المنظمات الحكومية التي يتم تصميم الشبكات فيها بتحديد مقدار القدرة الخارجة من هوائيات الشبكة

1.2.1.2 Decibel (dB)

النصف الأخير من الديسيبل "بل Bel "نسبة الي العالم جراهام بل مخترع الهاتف و النصف الأول "ديسي " Deciلأن الوحدة مكونة من عشر قيم 1 الي 10

و أول ما يجب أن تعرفه عن الديسيبل هو أنه وحدة مقارنة قدرة و ليس وحدة قياس قدرة

أي أنها وحدة للتعبير عن ناتج مقارنة بين قيمتين مثل قدرة اشارة هوائي استقبال و آخر ارسال في الشبكة اللاسلكية أو مخرج و مدخل اشارة مثل المكبرات كما بالشكل



علي سبيل المثال يقوم أكسس بوينت بإرسال بيانات بقدرة 100 mw و من ثم يقوم لابتوب 1 بإستقبال هذه هذه البيانات بمستوي قدرة mw10 بينما يقوم لابتوب أخر باستقبال نفس البيانات بمستوي قدرة mw1

و علي هذا يكون فرق مستوي قدرة الإشارة بين الأكسس بوينت و اللابتوب الأول هو 100:10 أي 10:1 أي 1 بل

و يكون فرق مستوي قدرة الإشارة بين الأكسس بوينت و اللابتوب الثاني هو 100:1 أي أي 2 بل

و يكون مستوي القدرة بين اشارتي اللابتوب الأول و الثاني هو 10:1 أي 1 بل أيضا

و نستطيع حساب هذا بواسطة اللوغاريتمات و التي تبسطها هذه المعادلة

$$\text{bels} = \log_{10}(P_1/P_2)$$
$$\text{decibels} = 10 \times \log_{10}(P_1/P_2)$$

حيث dB هي قيمة القدرة بالديسيبل و هي واحد من عشرة أجزاء من بل

P1/P2 هي النسبة بين قيمتي القدرة

و لبيان هذا الأمر نأخذ مثال المكبر فلو أن دخل المكبر بقدرة 10 mw و خرجه 100 mw فهذا يعني أن كسب أو قيمة تكبير المكبر هو dB10

و لكن ما السبب إذن وراء استخدام قيم الديسيبل رغم أن استخدام قيم الوات أو المللي وات تقوم مقامها

بالنظر للجدول التالي و الذي يبين كيفية التعبير عن تغير قيم القدرة تستطيع أن تري مدي سهولة التعبير بقيم الديسيبل عن الوات

Milliwatts	Decibel Change
0.0001	–40
0.001	–30
0.01	–20
0.1	–10
1	0
10	+10
100	+20
1,000	+30
10,000	+40
100,000	+50

سهل جدا أن أقول أن قدرة الأكسس بوينت قد تناقصت بقيمة 40 ديسيبل عن أعبر بأنها تناقصت بقيمة 0.0001 ميللي وات

1.2.1.3 dBm, dBi and dBd

يعتبر dBm هو وحدة مستوي القدرة مقارنة بالواحد ميللي وات و هي تعتمد علي الحساب بواسطة اللوغاريتمات حيث يعبر عن 1 ميللي وات بـ 0 dBmو يسمي بالصفر المطلق و بنفس المنطق يكون 100 mw مساويا لـ dBm20

فعلي سبيل المثال في هذا المثال من الطبيعي جدا أن يكون ناتج المعادلة بوحدة dB فقط الا أنه بوجود 1 mwكمرجع في أساس اللوغاريتم فتم حساب مستوي القدرة بوحدةdBm

Power (in dB) =10 * log10 (50/1) =10 * log10 (50) =10 * 1.7 =17 dBm

و بالمثل أيضا يتم حساب القدرة بوحدة dBw عند المقارنة في اللوغاريتم بـ الوات W1

و هذه المعادلة تبين العلاقة المباشرة بين القدرة بالوات و الديسبل مللي وات

$$P_{dBm} = 30 + 10 \log p_W$$

Decibel Isotropic dBi

Decibel dipole dBd

في الهوائيات يتم استخدام هذه القيم علي نطاق واسع جدا لقياس كسب الهوائي و تكون القيمة الأساسية التي تتم حساب مستوي الإشارة بالنسبة لها هي قيمة الهوائي dBi أوdBd

dBiعندما يتم الحساب بالمقارنة بهوائي المثالي isotropic antennas و هو هوائي غير موجود في الحقيقة و يستخدم رياضيا فقط للتعبير عن الهوائي الذي ينشر الموجات في جميع الإتجاهات بشكل مثالي جدا

dBdو يتم الحساب بالمقارنة بهوائي ثنائي القطبdipole antenna

و الشائع هو الحساب بالمقارنة بالهوائي المثالي dBi و هو المستخدم من قبل سيسكو وFCC

و عموما فالفرق بين القياسين هو 2.14 حيث

$$dBi = dBd + 2.14$$

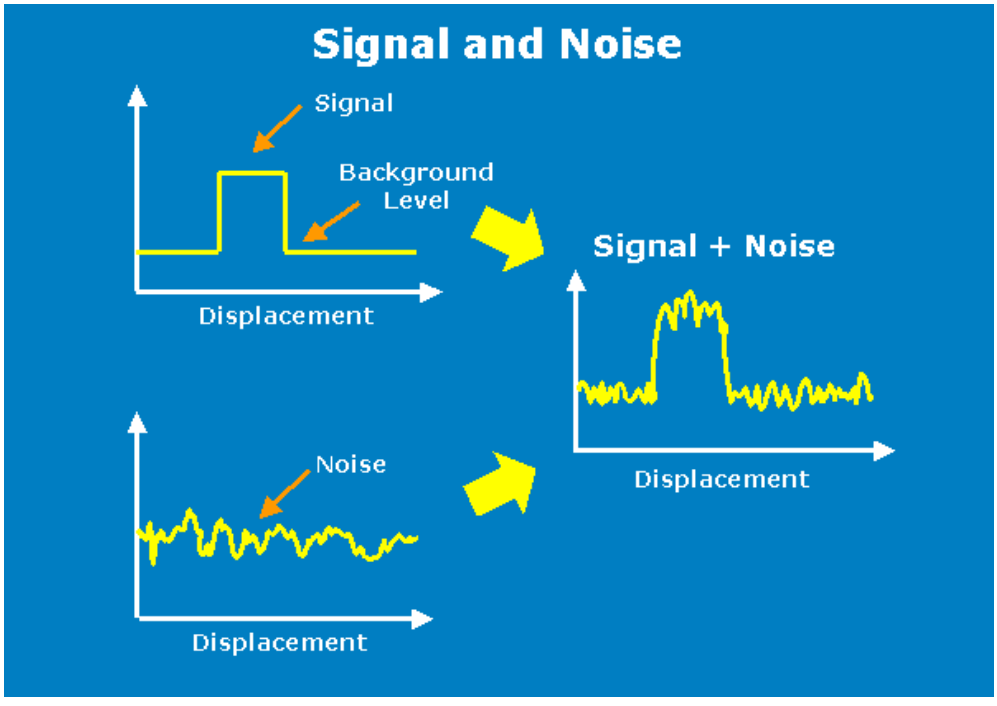
1.2.1.4 SNR

signal to niose ratio

هل تعلم معني ‘‘قناة ملغوشة’’

هو مصطلح نطلقه في بلادنا علي قناة التلفاز حينما لا نستطيع تمييز الصورة التي تظهر علي الشاشة و يكون العيب في ضعف الإرسال أو أن الهوائي ‘‘**الإريال**’’ غير قادر علي التقاط الإشارة أو أن الأحوال الجوية من مطر أو تراب تؤثر علي الإشارة

ان ما نتكلم عنه هو Signal-to-noise ratio و الذي يحدد ما تحتويه الإشارة من اشارات غير مرغوب يها نسميها شوشرة أو ضوضاء noise و هي تلتصق بالإشارة الأصلية مغيرة من بعض خصائصها الأساسية مثل هذه الصورة



Signal-to-noise ratio أو اختصارا SNR أو S/N هو قياس يتم بواسطته المقارنة بين قيمة الإشارة و بين قيمة الشوشرة المحمولة معها أو بشكل أوضح النسبة بين قيمة الإشارة الي قيمة ما تحتويه من الشوشرة

و يتم حسابه بهذه المعادلة

$$\mathrm{SNR} = \frac{P_{\mathrm{signal}}}{P_{\mathrm{noise}}},$$

حيث P signal هي قدرة الإشارة بينما P noise هي قدرة الشوشرة

نستطيع أيضا استخدام قيمة الإشارة Amplitude في هذه المعادلة

$$\mathrm{SNR} = \frac{P_{\mathrm{signal}}}{P_{\mathrm{noise}}} = \left(\frac{A_{\mathrm{signal}}}{A_{\mathrm{noise}}}\right)^2,$$

و لأن SNR يتم غالبا قياسها عبر مقدار واسع من القياسات فأنه لا يصلح الا استخدام القيم اللوغاريتيمة و التي يتم قياس قيم SNR بواحدات الديسيبل هكذا

$$\mathrm{SNR_{dB}} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{\mathrm{signal}}}{P_{\mathrm{noise}}}\right) = P_{\mathrm{signal,dB}} - P_{\mathrm{noise,dB}},$$

أو هكذا

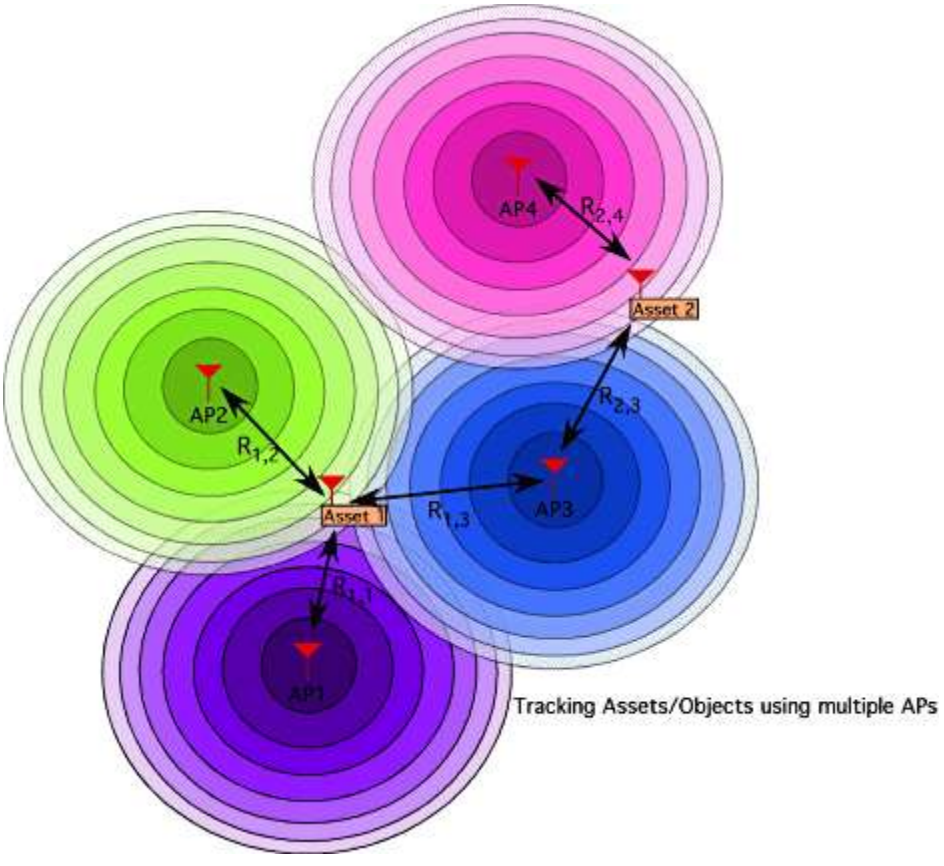
$$\mathrm{SNR_{dB}} = 10\log_{10}\left(\frac{A_{\mathrm{signal}}}{A_{\mathrm{noise}}}\right)^2 = 20\log_{10}\left(\frac{A_{\mathrm{signal}}}{A_{\mathrm{noise}}}\right).$$

و عندما تصبح القيمة بالديسبل صفر SNR=0 db و هذا يعني أن الإشارة لن نستطيع قراتها لأن المقدار الذي ستلتقطه منها ستلتقط معه قيمة مساوية من الشوشرة

و في حالة أن قيمة SNR موجبة فهي القيم المطلوبة و هذا يعني أن الإشارة أكبر من الشوشرة أما ان كانت قيمة الإشارة أقل من قية الشوشرة فإن SNR سالبة

و يقضي المهندسون المصممون لأنظمة الإتصالات و الشبكات كثير من أوقاتهم لتصميم أنظمة تزداد يها قيم SNR ففي أنظمة الإتصالات الرقمية يعتبر Spead Spectrum من أفضل الطرق لزيادة SNR و في التليسكوبات الإلكترونية يتم تبريد أجهزة استقبال لدرجات متدنية جدا لزيادة نسبةSNR و في عالم الشبكات اللاسلكية يتم التركيز علي اختيار أفضل الهوائيات و وضعيات تثبيتها

1.2.1.5 RSSI



سنتكلم عن شي لم يكن مشتهرا في شبكات الإتصالات و لكنه بمجرد ظهور الشبكات التي تعتمد معايير IEEE 802.11الواي فاي اي شبكات الكمبيوتر اللاسلكية حتي ذاع صيته و هو received signal strength indicator RSSIبل قد صرح موقع ويكيبيديا أنه أصبح اطلاقه قاصرا علي التعامل مع الشبكات اللاسلكية

و ليس لـ RSSI لها وحدة قياس unitless و تتراوح قيمها ما بين 0 الي RSSI_Max و ما زاد عن RSSI_Max يعتبر قياس غير صالح للتعامل مع برنامج الجهاز الشبكي الذي قاس تلك القيمة و ذلك طبقا للشركة المصنعة لنظام أو برنامج القياس و لكل شركة مقياس خاص بها في تحديد قيم RSSI فما يذكره منتج شركة ما لا تستطيع مقارنته مع مقياس شركة أخري ذلك تقريبا كأن تقارن بين درجتي حرارة احداهما مدرجة بالمقياس السيليزي و الأخري بمقياس فهرنهايت كمثال تقربي لا اكثر

فسيسكو تتعامل أجهزتها بمقياس يتراوح ما بين 0 – 100 في حين تتعامل شركة Qualcomm Atheros بمقياس 0 to 127

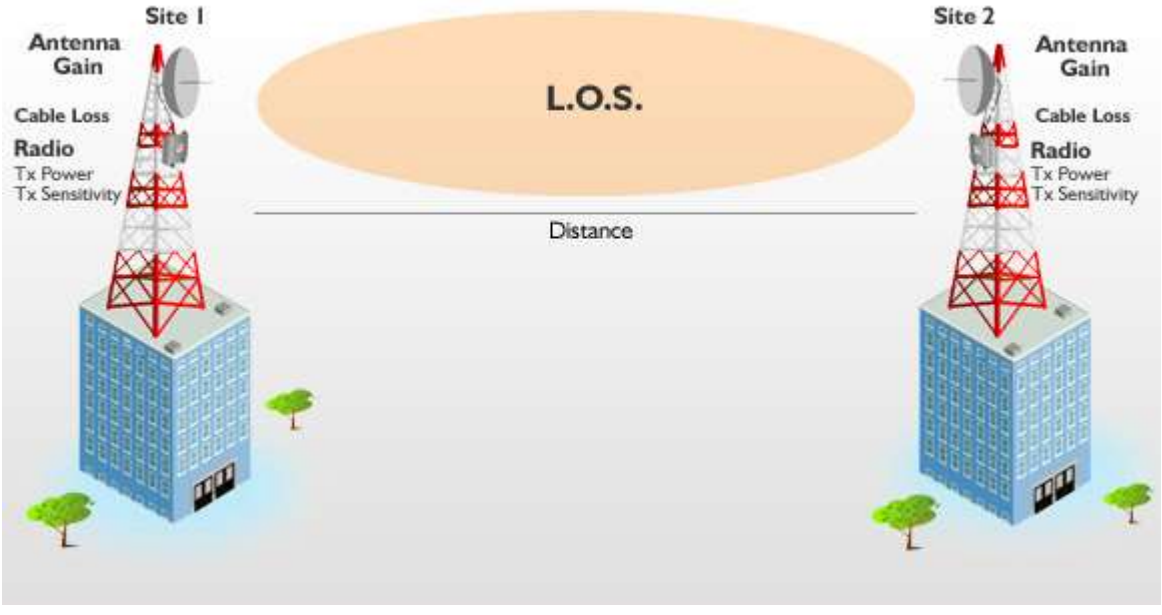
و لأن الشبكات عموما و الشبكات اللاسلكية خصوصا تستشعر بعضا من الإستقلالية فإنه قد استحدث مقياس آخر خاص فقط بالشبكات اللاسلكية يسمي RCPI Received Channel Power Indicatoو يختلف عن RSSI في أنه يقوم بقياس قوة الإشارة في كل قناة علي حدة و هذا أفضل و أنسب للشبكات اللاسلكية , فلقد قام معهد مهندسي الكهربا و الإلكترونيات بعمل معيار خاص بهذه الخدمة تحت عنوان IEEE 802.11k-2008 حيث ضبط اعدادات كيفية ربط الأجهزة مع الأكسس بيونت طبقا لقوة الإشارة الوصالة اليه و ذلك في غابة لاسلكية تحتوي علي أكثر من أكسس بوينت

و يتم ذلك كثيرا عبر كروت الشبكات اللاسلكية wireless NIC حيث يقوم بفحص مستوي طاقة الإشارة في الوسط و يتم علي أساسها عمل البرمجيات التي تأتي مع الكارت و يتم ايضا استخدام الكثير من البرمجيات الخارجية الخاصة بهذا الأمر

و في غالب الأمر يتم التعامل مع المصطلحين RCPI و RSSI بغرض الإشارة الي موضوع واحد و هو قياس قوة الإشارة الواصلة للجهاز

و كمثال تقدم سيسكو كارت من نوع CB21AG و اسمه بالكامل Cisco Air PCM350 Aironet AIR PCM352 Laptop WiFi Card

1.2.1.6 System Operating Margin (SOM), fade margin and link budget



المصطلح budget يعبر بشكل عام عن مدي التحكم في المصادر أو الميزانية مثل ميزانية مشروع أو ميزانية شركة و غيرها و قبل أن تبدأ مشروع ما لابد ان تغطي ميزانيتك تكاليف هذا المشروع و الا فإنك لن تستطيع أن تصل لنهاية المشروع أو تتمه

نفس الأمر يتم في الشبكات اللاسلكية فمقدار الطاقة الموجود في الإشارة لابد أن يسمح لها بالوصول الي الجهة الأخري أي يكون مقدار الطاقة في الإشارة اللاسلكية قادر علي تحقيق الإتصال بين الجهتين و هذا يأتي من التحقق من حساب ما يسمي بـ Link Budget و هو يتكون من مجموع الزيادة في قدرة الإشارة gain و الفقد فيها loss و ذلك خلال خط الإشارة

و خط الإشارة يشمل مسارها من مصدرها و الأجهزة التي تمر بها حتي تصل الي هدفها مثل الهوائيات و الموصلات و الكابلات و الوسط الذي تنتقل فيها

و يعتبر System Operating Margin (SOM) هو مقدار الفرق بين قوة الإشارة التي يلتقطها الجهاز signal strength و اقل قوة اشارة يستطيع التقاطها receive sensitivity بمعني آخر لو أن لدينا جهاز يستطيع أن يتقبل مصمم علي التقاط اشارة بحد أدني أي receive sensitivity هو –94 dBm و قام بالتقاط اشارة S بمقدر –65 dBm فإن

SOM = receive sensitivity − signal strength

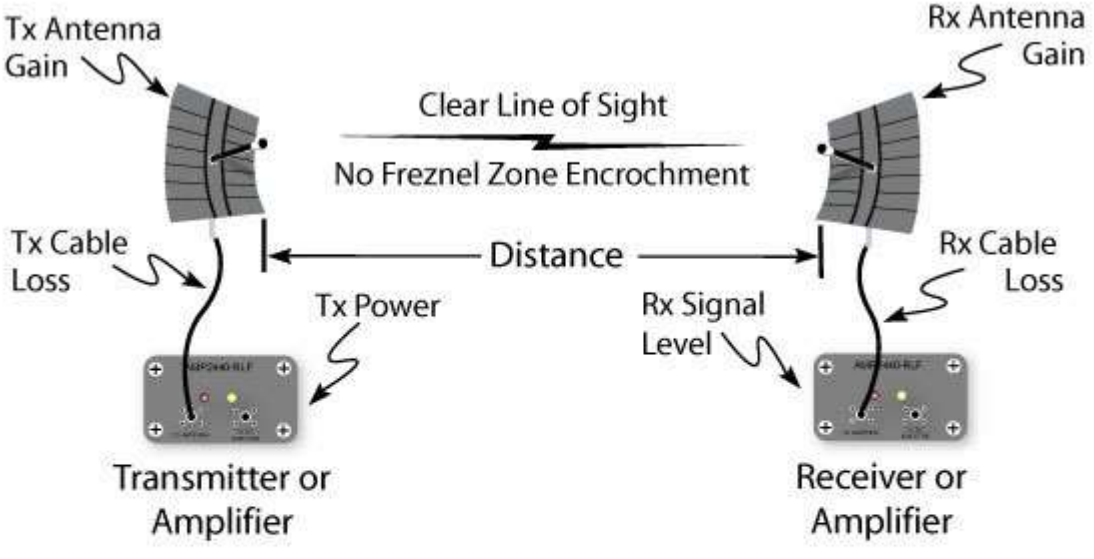
SOM = (−94)−(−65) =29 dBm

تعتبر حسابات SOM من الحسابات التي تتم غالبا في الشبكات اللاسلكية الخارجية حيث أنها تعتمد علي الإتصال المباشر direct line of sight علي عكس الشبكات اللاسلكية الداخلية

تستطيع استخدام هذه الصفحة في تلك الحسابات ببساطة جدا

هنا

و الشكل التالي يبين اماكن تواجد الفقد و الكسب علي طول مخطط الإشارة



$$Free\ Space\ Loss = 20Log_{10}(MHz) + 20Log_{10}(Distance\ in\ Miles) + 36.6$$

$$Rx\ Signal\ Level = Tx\ Power - Tx\ Cable\ Loss + Tx\ Antenna\ Gain - FSL + Rx\ Antenna\ Gain - Rx\ Cable\ Loss$$

$$SOM = Rx\ Signal\ Level - Rx\ Sensitivity$$

System Operating Margin Example

و هذا مثال

1.2.1.7 Intentional Radiator compared with Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP)

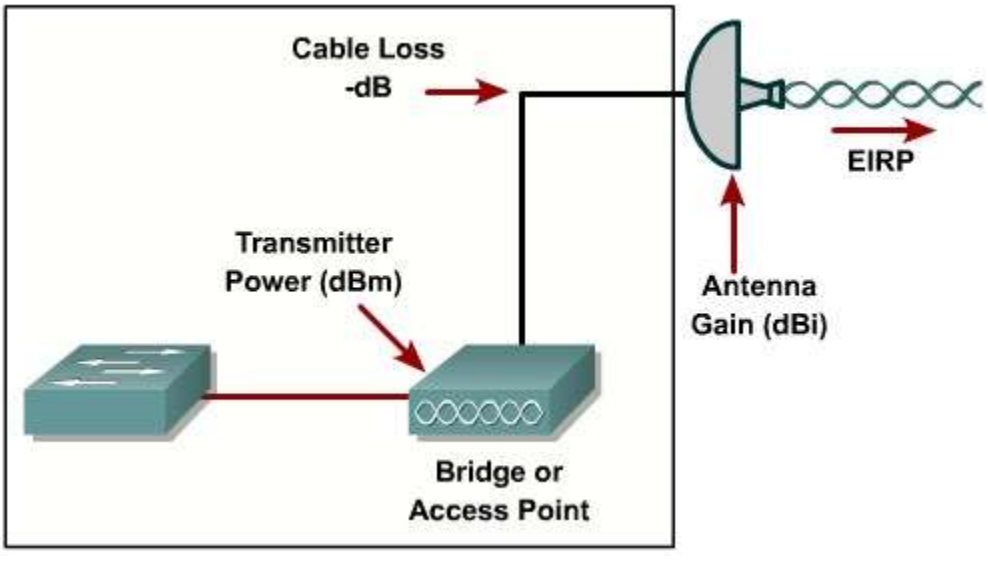
EIRP – Effective Isotropic Radiated Power

هل قمت بممارسة مهنة التجارة من قبل ؟

لعلك مثلي ستقول لا , لكن بالتأكيد مر عليك عمليات حسابية للبيع و الشراء عندما كنت تدرس لأول مرة علامات الموجب و السالب حيث يمثل الموجب حالات الربح أما السالب فتمثل عمليات الخسارة

في علوم الشبكات و الإتصالات نقوم بنفس المهمة و هي حسابات للربح و الخسارة و لكن في الإشارة و نسميها Link budget أو حسابات الميزانية و هذه الحسابات تقيم قوة الإشارة في جميع مراحلها من المرسل للمستقبل في الأسلاك و الفايبر و المراحل اللاسلكية

و حسابات الربح في خطوط الإتصالات تتمثل في عمليات التكبير الناتجة عن أجهزة Repeaters و كسب الهوائيات antenna gain , و تتمثل حسابات الخسارة في كل العمليات السابقة التي شرحناها مثل free path loss و refraction و scattering و غيرها و لذلك تسمي علميا في نظرية الهوائيات بالقيمة الفعلية للإشارة التي ينشرها الهوائي Effective Isotropic Radiated Power – EIRP



و يتم حساب ذلك كله من خلال تلك المعادلة

Received Power (dBm) = Transmitted Power (dBm) + Gains (dB) – Losses (dB

حيث

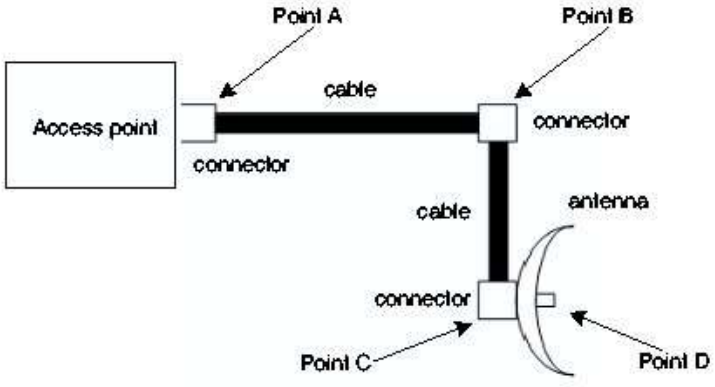
Received Power هي القدرة المستقبلة بالديسيبل

Transmitted Powerهي القدرة المرسلة بالديسيبل

Gains هي قيم الكسب علي خط الإشارة من الهوائيات و المكبرات و المكررات بالديسيبل

Losses هي قيم الفقد في خط الإشارة عبر عمليات الإنكسار و انعكاس و التشتت و مقدار الفقد في الإشارة خلال الكابل و الموصل الذي قد تستخدمه للربط بين الأكسس بوينت و الهوائي بالديسيبل

و يمثل الشكل التالي تطبيق عملي للمعادلة السابقة مع وجود موصلات و كابلات و قيم فقد في الإشارة



	Access Point	Point A	Point B	Point C	Point D
	100 mW	-3 dB	-3 dB	-3 dB	+12 dBi
=	100 mW	+2	+2	+2	(x2 x2 x2 x2)
=	100 mW	+2	+2	+2	x16
=	50 mW		+2	+2	x16
=	25 mW			+2	x16
=	12.5 mW				x16
=	200 mW				

و عند عدم استخدام موصلات أو كابلات مع أكسس بوينت مثل Cisco 1242AG مع هوائي بقيمة كسب 6 dbi مع معيار 802.11 aو كسب 2.5 dbi مع معيار 802.11 bg تكون قيمة EIRP

802.11a EIRP = 17db (40mw) – 0db + 6dbi = 23db = 200mw

802.11bg EIRP = 20db (100mw) – 0db + 2.5dbi = 22.5db = 150mw

و رغم أن حساب هذه المعادلات من السهولة بحيث لا تعوزك لإستخدام حتي الآلة الحاسبة الا أن هناك بعض البرمجيات لحسابها مثل التي توجد في هذه الصفحة

http://www.air-stream.org/eirp

و هذه صفحة أخري تساعدك علي حساب كم الربح و الخسارة في خطوط الإتصالات و الشبكات السلكية أو اللاسلكية

http://www.afar.net/rf-link-budget-calculator/

سيحتاج البرنامج علي الصفحة للجافا