

ITRAINONLINE MMTK

الهوائيات والأسلاك – كراسة المتدرب

إعداد: ألبيرتو إسكوديرو باسكال / IT +46
النسخة العربية: أنس طويلة، www.tawileh.net/anas

1.....	ITRAINONLINE MMTK
2.....	1. عن هذا المستند
2.....	1.1. معلومات حفظ الملكية الفكرية
2.....	2.1. سجل التغييرات
2.....	3.1. مهام يجب إنجازها
2.....	4.1. درجة الصعوبة
3.....	2. مقدمة
3.....	3. ميزانية الوصلة اللاسلكية
4.....	1.3. قدرة الإشعاع في الهوائيات
5.....	2.3. خسارة الأسلاك والتوصيلات
5.....	3.3. ربح الهوائي
6.....	4.3. خسارة مسار الفضاء الطلق Free Space Path Loss
6.....	5.3. حساب هامش ميزانية الوصلة اللاسلكية Link Budget Margin Calculation
7.....	4. ما هو الهوائي؟
7.....	5. أنواع الهوائيات
8.....	1.5. الهوائيات متعددة الاتجاهات Omni-directional Antennas
9.....	2.5. الهوائيات القطاعية Sectoral Antennas
11.....	3.5. الهوائيات الاتجاهية Directional Antennas
11.....	3.5.1. هوائي ياغي الاتجاهي Yagi Directional Antenna
12.....	3.5.2. الهوائيات الاتجاهية القطعية Parabolic Directional Antenna
14.....	6. إستقطاب الهوائيات Antenna Polarization
16.....	7. مجزء / مجمع القدرة Power Divider / Combiner
16.....	8. عزل الهوائيات Antenna Isolation
16.....	1.8. العزل الشاقولي Vertical Isolation
17.....	2.8. العزل الأفقي Horizontal Isolation
18.....	9. الأسلاك المحورية Coaxial Cable
18.....	1.9. خسارة الأسلاك Cable Loss
19.....	10. موصلات الهوائيات Antenna Connectors
20.....	1.10. الضفائر Pigtails
21.....	11. مثال عملي: تركيب هوائي في إندونيسيا
23.....	12. الخلاصة

1. عن هذا المستند

تشكل هذه المواد التدريبية جزءاً من حزمة تدريب الوسائط المتعددة (Multimedia Training Kit (MMTK). توفر هذه الحزمة مجموعة متكاملة من المواد التدريبية والموارد الداعمة للإعلام الإجتماعي، مراكز الوسائط المتعددة للمجتمعات، مراكز الولوج البعيد وغيرها من المبادرات باستخدام تقنيات المعلومات والاتصالات لتدعيم المجتمعات ودعم نشاطات التنمية.

1.1 معلومات حفظ الملكية الفكرية

لقد تم إصدار هذه الوحدة ضمن إتفاقية الترخيص -Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.5 السويد. للحصول على المزيد من المعلومات عن كيفية استخدام هذه المواد يرجى الإطلاع على نص حماية الملكية الفكرية المضمن مع هذه الوحدة أو راجع <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/se>

2.1 سجل التغييرات

- 1.0 الإصدار الأول، أونو بوربو
- 1.1 إضافة مقدمة جديدة وحساب ميزانية الوصلة. إزالة الفقرة المتعلقة بالأبراج، 20051227، ألبيرتو إسكوديرو باسكال.
- 1.2 مراجعة وحدة الهوائيات والأسلاك، إزالة الأبراج من هذه الوحدة، 20051228، ألبيرتو إسكوديرو باسكال.
- 1.3 إضافة فقرة "مهام ينبغي إنجازها To Do" وإعادة ترتيب الأشكال والمحتويات، 20051230، ألبيرتو إسكوديرو باسكال.
- 1.4 إضافة فقرتي المقدمة والخلاصة والربط مع الوحدات الأخرى ضمن حزمة تدريب الوسائط المتعددة، MMTK، 20060423، ألبيرتو إسكوديرو باسكال.

3.1 مهائجب إنجازها

فيما يلي قائمة بالمواضيع الممتعة التي يمكن إضافتها إلى هذه الوحدة. إذا رغبت في توسيع هذه الوحدة، حاول تغطية المواضيع التالية:

- إضافة فقرة عن هوائيات الصفائح المعدنية Patch وهوائيات الأشرطة الصغيرة Micostrip.
- إضافة فقرة عن VSWR.
- إضافة فقرة عن نقل التيار الكهربائي عبر أسلاك الإيثرنت Power over Ethernet.
- مراجعة جميع الفقرات المتعلقة بنسبة الإشارة للضجيج SNR والعزل Isolation.
- إضافة المزيد من الأمثلة العملية.
- توسيع شرح مفهوم الديسيبل dB وحساب القدرة.
- تصميم بعض الأشكال ثلاثية الأبعاد لتوضيح أنماط الإشعاع Radiation Patterns.
- إضافة بعض المراجع عن برمجيات أنماط الإشارة الراديوية وتخطيط الإرسال اللاسلكي.

4.1 درجة الصعوبة

درجة صعوبة هذه الوحدة: مبتدئ.

2. مقدمة

تعنى هذه الوحدة بتغطية المواضيع المتعلقة بالهوائيات والأسلاك، وهي إحدى العناصر السلبية¹ Passive Components في تصميم أية شبكة لاسلكية لنقل البيانات. لقد تم تأليف هذه الوحدة بالإعتماد على عائلة معايير IEEE 802.11 للشبكات اللاسلكية، لكنّ المبادئ الأساسية للهوائيات تنطبق على أية تقنية أخرى لنقل البيانات لاسلكياً.

من المفيد قبل أن نبدأ بمناقشة "الهوائيات والأسلاك" بالتفصيل أن نذكّر ببعض المبادئ التي استعرضناها في وحدة "حساب الوصلات اللاسلكية". يمكن للمشاركين الملمين بالأساسيات الفيزيائية للشبكات اللاسلكية وكيفية حساب ميزانية الوصلة اللاسلكية البدء مباشرة من الفقرة 6.

3. ميزانية الوصلة اللاسلكية

تلخص هذه الفقرة المبادئ الأساسية التي تعرفنا عليها في وحدتي "الأساسيات الفيزيائية للشبكات اللاسلكية" و "حساب الوصلات اللاسلكية".

تتألف ميزانية الوصلة اللاسلكية من حاصل جمع جميع الخسائر والأرباح بدءاً من جهاز الإرسال (مصدر الإشارة اللاسلكية) مروراً بالأسلاك، التوصيلات والفضاء الطلق إنتهاءً بجهاز الإستقبال. تعتبر معرفة قيمة "القدرة" في جميع أجزاء الوصلة اللاسلكية عاملاً أساسياً للقيام بتصميم الوصلة بشكل صحيح واختيار التجهيزات الملائمة.

من المكونات التي تستحق عناية خاصة في ميزانية الوصلة اللاسلكية "قدرة الإشعاع الأعظمية Maximum Radiated Power" و "حساسية الإستقبال Receiver Sensitivity". تحدّد هذه المتغيرات حدود الوصلة القصوى والدنيا.

يعرف المتغيّر الأول باسم "قدرة الإشعاع الأعظمية Maximum Radiated Power" ويحدّد قدرة القصوى التي يسمح قانونياً بإرسالها إلى الهواء الطلق في دولة أو منطقة محدّدة. تقوم سلطة تشريع الإرسال اللاسلكي الوطنية بتنظيم قدرة الإشعاع الأعظمية أو القدرة الفعّالة المستقلّة عن الإتجاه Effective Isotropically-Radiated Power. يعادل الحد الأقصى المسموح في أوروبا 100 ميلي وات. قد تصل هذه القيمة في بعض الحالات الخاصة جداً (الوصلات بين نقطتين) في بعض الدول إلى 1 - 4 وات.

يشير المتغيّر الثاني "حساسية الإستقبال Receiver Sensitivity" إلى قيمة القدرة الدنيا المطلوبة عند جهاز الإستقبال ليكون قادراً على تمييز "المعلومات المنطقية" من الإشارة اللاسلكية.

¹ نقصد عند الإشارة إلى الهوائيات والأسلاك بالعناصر السلبية في الشبكة اللاسلكية أنّ هذه العناصر لا توفر كمية طاقة أكثر من تلك التي تستهلكها

يمكننا القول بأنّ المتغيّر الأول يحدد مدى قوّة الإشارة المسموحة للإرسال في الهواء الطلق في حين يشير المتغيّر الثاني إلى أيّ مدى من الضعف يمكن أن تصل الإشارة عند وصولها إلى جهاز الإستقبال بحيث تستمر الوصلة اللاسلكية بالعمل.

يشكّل هذان المتغيّران جزءاً أساسياً من حساب ميزانية أيّة وصلة لاسلكية ويساعدانك في تحديد أنواع الهوائيات والأسلاك الملائمة للظروف الخاصة بوصلتك.

1.3. قدرة الإشعاع في الهوائيات

يمكن حساب قدرة الإشعاع بطرح خسارة القدرة في الأسلاك والتوصيلات من قدرة الإرسال Transmitting Power وإضافة ربح الهوائي المستخدم.

$$\text{قدرة الإشعاع (dBm)} = \text{قدرة الإرسال (dBm)} - \text{خسارة الأسلاك والتوصيلات (dB)} + \text{ربح الهوائي (dBi)}$$

يتم التعبير عن الأرباح والخسائر عند حساب قدرة الإشارة اللاسلكية بالديسيبل dB. الديسيبل هو وحدة قياس لوغاريتمية نسبية فائقة الأهمية في تبسيط حسابات قدرة الإشارة اللاسلكية.

على سبيل المثال: يتم التعبير عن قدرة الإرسال عادةً بالديسيبل في الميللي وات dBm، وهي وحدة دييسيبل نسبية مقارنةً بـ 1 ميللي وات (0.001 وات). تحسب وحدة dBm كما يلي:

$$\text{dBm} = 10 * \log(P/0.001) = 10 * \log(P(W)/1mW)$$

من المفيد تذكر التوجيهات التالية عند استخدام الديسيبل dB كوحدة لحساب القدرة:

• تعادل مضاعفة القدرة إضافة 3 دييسيبل

• يعادل إنقاص القدرة إلى النصف طرح 3 دييسيبل

لاحظ بأنّه وبغضّ النظر عن قيمة القدرة فإنّ ضرب قيمة القدرة بـ 2 يعادل دائماً "إضافة" 3 دييسيبل في حين يعادل تقسيم قيمة القدرة على 2 دائماً طرح 3 دييسيبل.

تتساوى القيم التالية فيما بينها: $100 \text{ dBm} = 0.1 \text{ W} = 100 \text{ mW}$

إذا ما ضاعفنا قدرة جهاز الإرسال إلى 200 ميللي وات فإننا نضيف 3 دييسيبل للقيمة 20 دييسيبل في الميللي وات dBm لنحصل على 23 دييسيبل في الميللي وات dBm. وبنفس الطريقة تعطي 400 ميللي وات قدرة

تعادل 26 dBm و 800 ميللي وات قدرة تعادل 29 dBm.

وباستخدام نفس الأسلوب نجد أنّ قيمة 50 ميللي وات تعادل 17 دييسيبل في الميللي وات (20 dBm) dBm (-3 dBm).

يمكنك اعتبار القيمة العادية لبطاقة شبكة لاسلكية من نوع PCMCIA تعمل بمعيار IEEE 802.11b مساوية لـ 30 ميلي وات أو 14.77 ديسيبل في الميلي وات dBm. تتيح نقاط الولوج الجيدة إمكانية إعداد القدرة من 10 وحتى 200 ميلي وات مما يؤدي بالتالي إلى التحكم بأحجام الخلايا التي تغطيها.

2.3 . خسارة الأسلاك والتوصيلات

تحدث خسارة الإشارة اللاسلكية في الأسلاك التي تربط جهاز الإرسال أو الإستقبال بالهوائيات. تتعلق الخسارة بنوع السلك والتردد المستخدم وتقاس عادة بالديسيبل dB بالمتر أو بالقدم.

لإعطائك فكرة عن مدى كبر الخسارة التي قد تحصل في الأسلاك تخيل بأذك تستخدم سلكاً من نوع RG58/BNC خسارته 1 ديسيبل في المتر dB/m لربط جهاز إرسال بهوائي. يكفي أن تمر الإشارة عبر ثلاثة أمتار من هذا السلك لتخسر نصف قدرتها!

يتم عادة تضمين خسارة التوصيلات في الجزء المتعلق بخسارة الأسلاك إذا كانت الأسلاك المستخدمة طويلة. ولكن وللمزيد من الإطمئنان أضف خسارة وسطية مقدارها 0.3 - 0.5 ديسيبل لكل توصيلة (بشكل عام).

3.3 ربح الهوائي

يعطى ربح الهوائي بوحدة الديسيبل الأيزوتروبي Isotropic Decibel dBi وهي وحدة نسبية تقارن القدرة المنبعثة من الهوائي باتجاه معين بالقدرة المنبعثة من هوائي معياري (الهوائي الأيزوتروبي). الهوائي الأيزوتروبي هو هوائي "إفترضضي" يشع أو يستقبل الإشارة بشكل متساوٍ في جميع الإتجاهات، هذا الهوائي نظري ولا يمكن إيجاده فيزيائياً ويستخدم للتعبير عن الخصائص الإتجاهية للهوائيات الفيزيائية.

لا يتم تصميم هوائيات الشبكات اللاسلكية لنشر القدرة في جميع الإتجاهات، بل لتوجيه كامل القدرة إلى منطقة نرغب في تغطيتها لاسلكياً. يستخدم ربح الهوائي كأسلوب لإتاحة قياس مدى قدرة الهوائي على توجيه الإشارة بالمقارنة مع هوائي "ينشر القدرة في جميع الإتجاهات". كلما ازداد ربح الهوائي كلما كان أكثر قدرة على إرسال الإشارة اللاسلكية في إتجاه معين وكلما كان عرض شعاع الإرسال أضيق.

من الضروري الإنتباه إلى أن الهوائيات عناصر "خاملة" لا تقوم بتضخيم الإشارة اللاسلكية. تقوم الهوائيات فقط بتوجيه الإشارة في إتجاه محدد. يتولّى الهوائي عند استخدامه كمرسل بإشعاع قدرة جهاز الإرسال في إتجاه معين. أما عند استخدامه كمستقبل فيقوم بتجميع القدرة وإرسالها إلى جهاز الإستقبال.

تعتبر الهوائيات (على الرغم من أنها عناصر "خاملة" لا تقوم بأي تضخيم للإشارة) من ناحية حساب ميزانية الوصلة اللاسلكية (ربحاً) للإشارة اللاسلكية في بعض المناطق الفيزيائية.

إذا امتلك هوائيٌ ما ربحاً قدره 3 ديسيبل آيزوتروبي dBi في إتجاهٍ معيّنٍ هذا يعني بأنّ القدرة المرسلّة أو المستقبلّة في هذا الإتجاه تعادل القدرة التي سيتم إرسالها أو استقبالها بهوائيٌ آيزوتروبيٌ مثاليٌ باستخدام جهاز إرسال يملك ضعف هذه القدرة.

يتم التعبير عن ربح الهوائي أحياناً بالديسيبل الدايبولي dBd. تستخدم هذه الحالة هوائياً دايبولياً (ثنائي القطب Dipole) كهوائيٌ مرجعيٌ. يملك الهوائي الدايبولي ربحاً قدره 2.14 dBi مقارنةً مع هوائيٌ آيزوتروبيٌ .

$$\text{dBd} = \text{dBi} + 2.14$$

4.3. خسارة مسار الفضاء الطلق Free Space Path Loss

يضع القسم الأكبر من قدرة الإشارة اللاسلكية في الفضاء. تستخدم خسارة مسار الفضاء الطلق FSPL لقياس خسارة القدرة في الفضاء الطلق دون وجود أيّ نوعٍ من العوائق. تضعف الإشارة اللاسلكية في الفضاء الطلق بسبب إنتشارها بشكلٍ كروي. تعتمد خسارة الفضاء الطلق على تردد الإشارة اللاسلكية وتتبع المعادلة التالية:

$$(\text{FSPL } (2.4 \text{ GHz})) = 100 + 20\text{Log}(R)$$

حيث R = المسافة بالكيلومتر

كقاعدة عامة في الشبكات اللاسلكية العاملة بتردد 2.4 غيغاهرتز: تخسر الإشارة 100 ديسيبل في الكيلومتر الأول من المسافة المقطوعة ومن ثم تتخفّض الإشارة بمقدار 6 ديسيبل كلما تضاعفت المسافة. أي أنّ وصلةً بطول 2 كيلومتر تملك خسارة مقدارها 106 ديسيبل في حين تملك وصلةً بطول 4 كيلومتر خسارة قدرها 112 ديسيبل وهكذا.

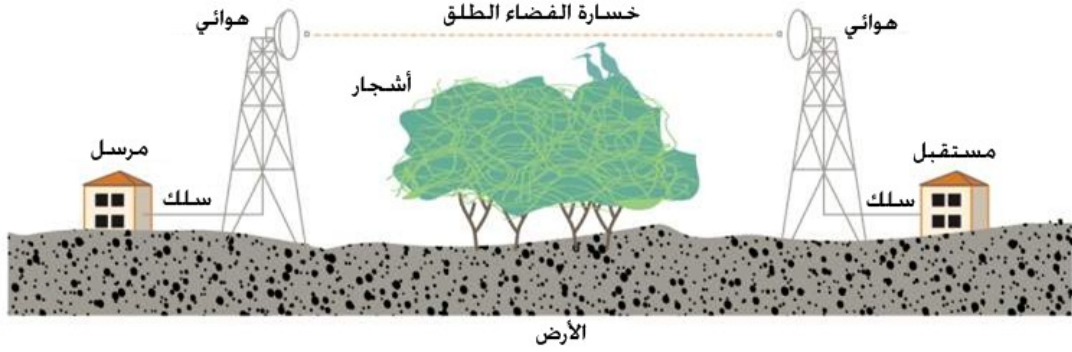
تعتبر حساسيّة الإستقبال Receiver Sensitivity كما ذكرنا في بداية الوحدة عاملاً مهماً في تحديد القدرة الدنيا اللازمة للحصول على سرعةٍ معيّنة لنقل البيانات.

كلّما إنخفضت قيمة حساسيّة الإستقبال كلّما كان جهاز الإستقبال اللاسلكي أفضل. من القيم الشائعة لحساسيّة الإستقبال -82 ديسيبل في الميلي وات dBm لوصلةٍ تعمل بسرعة 11 ميغابت في الثانية و -94 dBm للسرعة 1 ميغابت في الثانية (6 ميلي وات mW).

مع أنّ الإشارة المستقبلّة في جهاز الإستقبال قد تتجاوز حساسيّة الإستقبال، ينبغي أن تحتوي على هامشٍ معيّن بين الضجيج والإشارة الفعلية لتحقيق سرعة نقل البيانات المطلوبة.

يتم قياس العلاقة بين الضجيج والإشارة الفعلية باستخدام نسبة الإشارة للضجيج Signal to Noise Ratio ((SNR)). يطلب عادةً الحصول على قيمة SNR تعادل 16 ديسيبل لوصلةٍ تعمل بسرعة 11 ميغابت في الثانية و 4 ديسيبل للسرعة الأقل 1 ميغابت في الثانية.

5.3 حساب هامش ميزانية الوصلة اللاسلكية Link Budget Margin Calculation



شكل 1: ميزانية وصلة لاسلكية بين نقطتين PtP

يمكن تلخيص هامش ميزانية الوصلة اللاسلكية بما يلي:

$$\text{الهامش} = \text{قدرة الإرسال [dBm]} - \text{خسارة الأسلاك في جهة الإرسال [dBm]} + \text{ربح الهوائي في جهة الإرسال [dBi]} - \text{خسارة مسار الفضاء الطلق [dB]} + \text{ربح الهوائي في جهة الاستقبال [dBi]} - \text{خسارة الأسلاك في جهة الاستقبال [dBm]} - \text{حساسية الاستقبال [dBm]}$$

4. ما هو الهوائي؟

الهوائي بالتعريف هو جهازٌ خاملٌ Passive يستخدم لتحويل الإشارات الراديوية RF التي تعبر النواقل إلى أمواج كهرومغناطيسية Electromagnetic Wave تنتقل في الفضاء الطلق. تعمل الهوائيات أيضاً بالإتجاه المعاكس عبر تجميع الأمواج الكهرومغناطيسية من الفضاء الطلق وتحويلها إلى إشارات راديوية RF ضمن ناقلٍ ما.

5. أنواع الهوائيات

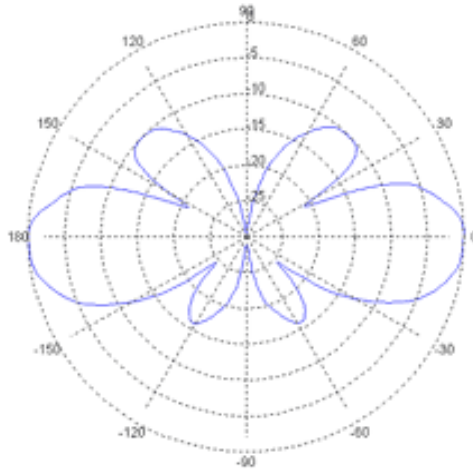
يمكننا تصنيف الهوائيات ضمن ثلاثة مجموعاتٍ مختلفةٍ تبعاً لطبيعة الاستخدام. تستخدم جميع الهوائيات المذكورة أدناه في الشبكات اللاسلكية الخارجية والتي تعرف أحياناً بإسم شبكات المناطق الحضرية (Metropolitan Area Networks (MAN):

- **الهوائيات متعددة الإتجاهات Omni-directional Antennas:** توصل أحياناً بنقاط الولوج اللاسلكية، وتملك نمط إشعاعٍ يغطّي 360 درجة، تعمل عادةً كمجمّعٍ مركزيٍّ أو كبوابةٍ للشبكة.
- **الهوائيات القطاعية Sectoral Antennas:** توصل أحياناً بنقاط الولوج اللاسلكية إلا أنّها مصممةٌ للعمل بربحٍ أكبر من ربح الهوائيات متعددة الإتجاهات. تغطّي الهوائيات القطاعية (على نقيض نظيراتها متعددة الإتجاهات) قطاعاتٍ تتراوح بين 60 - 120 درجة فقط.

• الهوائيات الإتجاهية **High Directional Antennas**: تستخدم عادةً في جهة الزبون وتوصل بالتجهيزات المركّبة في موقع الزبون أيضاً Customer Premises Equipment (CPE)). تملك هذه الهوائيات ربحاً عالياً ويتم توجيهها عادةً نحو نقطة الولوج. تستخدم الهوائيات الإتجاهية أيضاً لبناء وصلات بين نقطتين.

1.5 الهوائيات متعددة الإتجاهات Omni-directional Antennas

تملك الهوائيات متعددة الإتجاهات نمطاً إشعاعياً قدره 360 درجة محيطية بالهوائي، بالإضافة إلى حقل كهربائي E-field مستقطب شاقولياً. يكون ربح الهوائيات متعددة الإتجاهات منخفضاً على الأغلب ويتراوح بين 3 - 12 ديسيبل. تستخدم هذه الهوائيات لبناء وصلات بين نقطة إلى عدة نقاط Point-to-Multi-Point (PtMP) وتعمل بشكل جيد لمسافات تصل حتى 1.5 كيلومتراً، خاصةً عند استخدامها مع الهوائيات الإتجاهية عالية الربح في جهة الزبون.

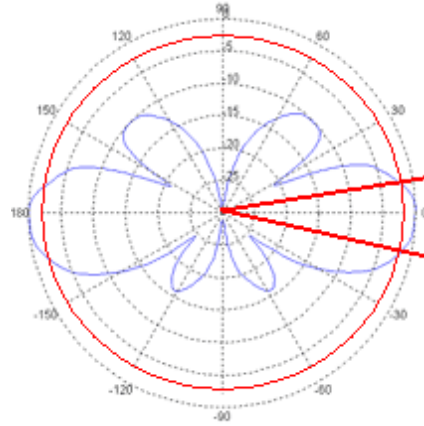


شكل 2: هوائي متعدد الإتجاهات Omni-directional ذو ربح قدره 6 ديسيبل ونمط الإشعاع الموافق

يظهر الشكل 2 أحد الأشكال الشائعة للهوائيات متعددة الإتجاهات (طراز Svenska Antennspecialisten V06/24). من ميزات هذا الشكل من الهوائيات أن مقدار تغطيتها لا يبلغ 360 درجة لكنها توفر تغطية جيدة للزبائن الواقعة ضمن مجالها الأفقي + / - 20 درجة. مما يعني أن هذا الهوائي في حال تركيبه على قمة برج ما قد لا يتمكن من تغطية الزبائن المتوضعة في أعلى أو أسفل البرج مباشرةً.

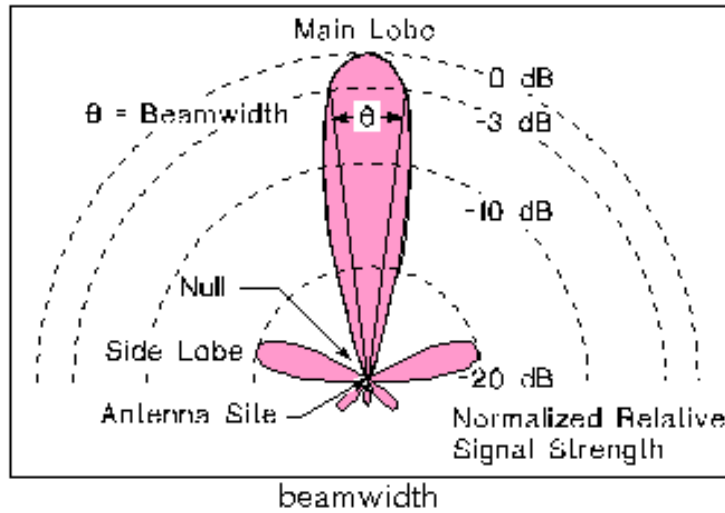
يمكننا باستخدام نمط الإشعاع الموضّح في الشكل 2 حساب المجال الأمثل لزاويا القطع الأفقي الذي يعمل هذه الهوائي ضمنه. يعرف هذا المجال بعرض الإشعاع Beamwidth ويشير إلى الفتحة الزاوية التي يتم ضمنها إشعاع القسط الأكبر من القدرة. من أكثر القيم شيوعاً لهذه الفتحة 3 ديسيبل والتي تمثل الفتحة الزاوية (بالدرجات) التي يتم ضمنها إشعاع ما يزيد عن 90 % من القدرة.

تبلغ الفتحة الزاوية الموافقة للقيمة 3 ديسيبل في مثالنا هذا حوالي 22 درجة، من - 10 درجات إلى + 22 درجة.



شكل 3: حساب عرض الإشعاع الموافق للقيمة 3 ديسيبل (+10، -12 درجة)

كقاعدة عامة: كلما ازداد ربح الهوائي متعدد الإتجاهات كلما صغر عرض الإشعاع الموافق.



شكل 4: تظهر الصورة عرض الإشعاع لهوائي مقارنة مع ربح هذا الهوائي. كلما ازداد ربح الهوائي كلما صغر عرض الإشعاع الموافق

(المصدر: <http://its.bldrdoc.gov/projects/devglossary/images/beamwi4c.gif>)

2.5 الهوائيات القطاعية Sectoral Antennas

تستخدم الهوائيات القطاعية (تماماً كما هي الحال في الهوائيات متعددة الإتجاهات) مع نقاط الولوج اللاسلكية لتخديم الوصلات من نقطة إلى عدة نقاط (Point-to-Multi-Point (PtMP). توجد الهوائيات القطاعية باستقطاب أفقي أو شاقولي تبعاً للتقنية المستخدمة في التصنيع.

تملك الهوائيات القطاعية عادة ربحاً أكبر من نظيراتها متعددة الإتجاهات (في المجال 10-19 ديسيبل آيزوتروبي dBi) في قطاع أصغر، وتستخدم عادة لتخديم مناطق تصل حتى 6-8 كيلومتر.

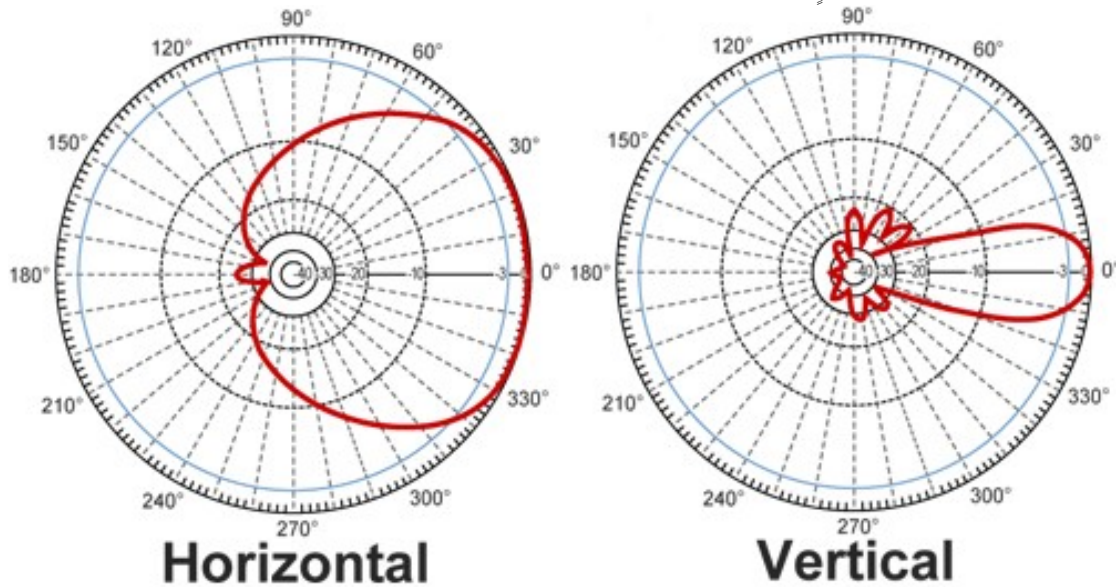
من القيم الشائعة للهوائيات القطاعية ربح قدره 14 ديسيبل آيزوتروبي dBi لعرض إشعاع أفقي يعادل 90 درجة وعرض إشعاع شاقولي يعادل 20 درجة.

يمكن الحصول على قيم أعلى للربح في الهوائيات عبر تضيق عرض الإشعاع الأفقي Horizontal Beamwidth.



شكل 5: هوائي قطاعي (Sectoral Antenna (A2.45LP14 180

يمكن كما هو موضَّح في الشكل 5 بناء الهوائيات القطاعية باستخدام هوائي متعدد الإتجاهات ذو استقطابٍ شاقوليٍّ بالإضافة إلى عاكسٍ على شكل حرف V.



شكل 6: نمط الإشعاع النموذجي لهوائي قِطّاعيّ (المصدر : Hyperlink)

يظهر الشكل 6 نمط الإشعاع النموذجي لهوائي قِطّاعيّ. يتضح من نمط الإشعاع الأفقي أنّ مقدّمة الهوائي تقوم بإشعاع القسط الأكبر من القدرة. يتوقّع إشعاع جزءٍ صغيرٍ جداً من القدرة خلف الهوائي القِطّاعيّ. يشبه نمط الإشعاع الشاقولي إلى حدّ كبيرٍ الهوائي متعدد الإتجاهات حيث يكون عرض الإشعاع ضيقاً جداً ولا تتجاوز منطقة التخدِيم 20 درجة.

يتم تثبيت الهوائيات القِطّاعيّة عادةً في أعلى برجٍ مرتفعٍ يميل قليلاً للتمكّن من تخدِيم المنطقة الواقعة تحت البرج.

3.5 الهوائيات الإتجاهيّة Directional Antennas

تستخدم الهوائيات الإتجاهيّة على الأغلب في مواقع الزبائن أو كجزءٍ من شبكةٍ بعيدة المدى تصل بين عدّة نقاط Backhaul. يتم توجيه الهوائيات الإتجاهيّة في موقع الزبون باتجاه نقطة الولوج المركزيّة (المجمّع).

يعتبر النوعين التاليين أكثر أشكال الهوائيات الإتجاهيّة شيوعاً:

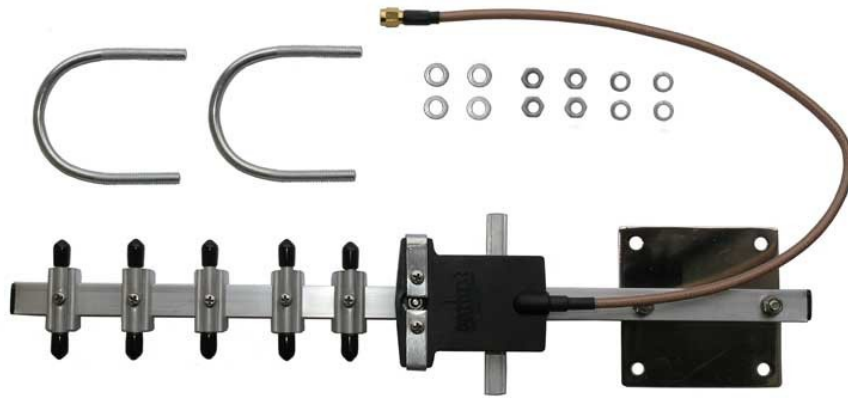
• ياغي Yagi

• الهوائي القطعي Parabolic

3.51 هوائي ياغي الإتجاهي Yagi Directional Antenna

يتألّف هوائي ياغي من هوائي دايبولي (ثنائي القطب Dipole) بالإضافة إلى مجموعةٍ من عناصر التوجيه المركّبة أمامه و(إختيارياً) عاكس. تتم إحاطة الهوائي عادةً بأسطوانة بلاستيكيّةٍ لحمايته.

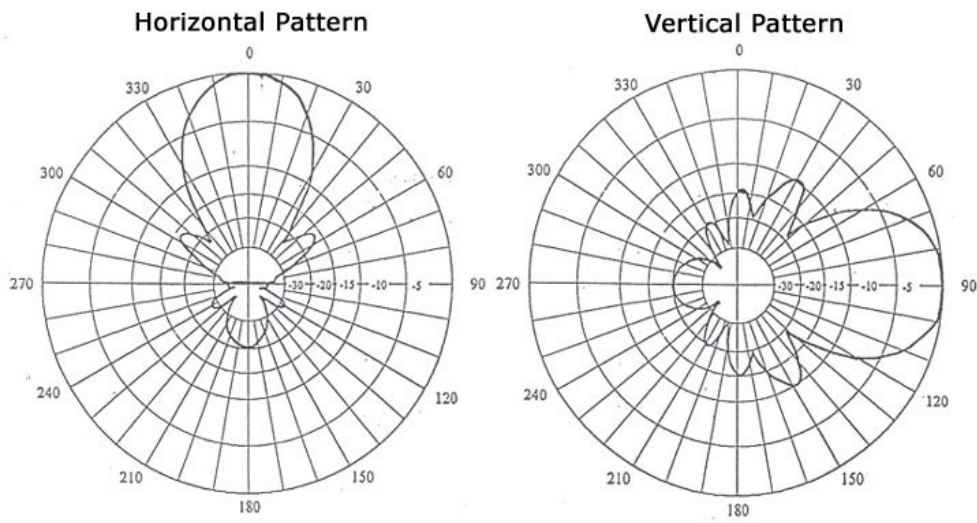
تعرف أسطوانة حماية الهوائي عادةً باسم (radom (radar dome) وهي عبارةٌ عن علبةٍ مقاومةٍ للعوامل الجويّة تستخدم لحماية الهوائي من الأمطار، الجليد، الثلج أو العواصف الرملية.



شكل 7: هوائي ياغي الإتجاهي من طراز P2412 Terabeam Wireless (يركّب ضمن أسطوانة حماية بلاستيكيّة)

كلماً ازداد عدد عناصر التوجيه أمام المشع كلما ازداد ربح الهوائي. يمتلك هوائي ياغي الإتجاهي عادةً ربحاً يتراوح بين 7 إلى 19 ديسيبل آيزوتروبي dBi. يظهر الشكل 7 هوائياً إتجاهياً من نوع ياغي طراز P-2412 2.4 GHz نو ربح قدره 12 dBi.

يبين الشكل 8 نمط الإشعاع النموذجي لهوائي ياغي الإتجاهي. تتميز هذه الهوائيات بتشابه أنماط الإشعاع الأفقي والشاقولي. يتجه كل من نمط الإشعاع الأفقي والشاقولي باتجاه عناصر التوجيه، ولا يتم إشعاع أي قدرة بالإتجاه الذي يقع خلف الهوائي. كما هو الحال في جميع الهوائيات، كلما ازدادت زاوية الإشعاع كلما انخفض ربح الهوائي. في حالة هوائيات ياغي الإتجاهية، كلما قصر الهوائي (أي احتوى على عدد أقل من عناصر التوجيه) كلما ازداد عرض منطقة الترخيم.



شكل 8: نمط الإشعاع المعياري لهوائي ياغي الإتجاهي

3.52 الهوائيات الإتجاهية القطعية Parabolic Directional Antenna

يصعب الحصول على أرباح عالية (تفوق 14 dBi) بالتوافق مع أنماط إشعاع جيدة باستخدام هوائيات ياغي الإتجاهية. لذلك يشيع استخدام عاكس للأمواج اللاسلكية على شكل قطع مكافئ خلف مشع دايبولي (ثنائي القطب Dipole).

يملك الهوائي القطعي ربحاً يتراوح بين 16-28 ديسيبل آيزوتروبي dBi.

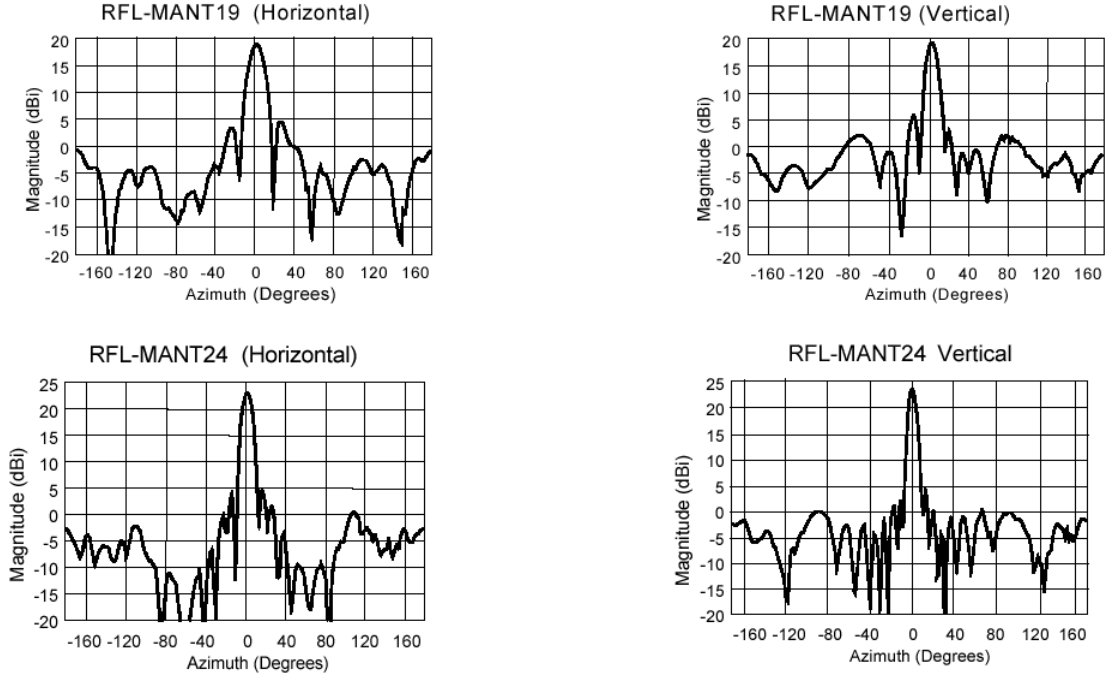


شكل 9: هوائي قطعي من طراز RFL-MANT ذو ربح قدره 19 dBi

يشابه نمط إشعاع الهوائي القطعي نظيره في هوائيات ياغي الإتجاهية إلا أنه يغطي منطقة تخديم أضيق بكثير. من الصعب جداً توجيه الهوائيات القطعية نظراً لتوجه الإشارات اللاسلكية التي ترسلها إلى منطقة تخديم ضيقة للغاية، وبالتالي تعتبر هذه الهوائيات أكثر حساسية للإضطرابات الفيزيائية والميكانيكية، خصوصاً الرياح الشديدة، من هوائيات ياغي الإتجاهية.

لا تعتبر الهوائيات القطعية خياراً جيداً للوصلات قصيرة المدى (أقل من 2 كيلومتر) بسبب ربحها العالي والذي قد يتسبب في زيادة كبيرة غير مبررة في قدرة الوصلة اللاسلكية.

يظهر الشكل التالي (10) أسلوباً آخر لتمثيل أنماط إشعاع الهوائيات. يوضح الشكل أنماط الإشعاع لهوائيين من نفس الطراز ولكن يملكان ربحين مختلفين (19 dBi و 24 dBi). نلاحظ أنه وعلى الرغم من التشابه الشديد بين الأنماط الأفقية والشاقولية إلا أن الهوائي ذو الربح 19 dBi يملك زاوية أوسع لعرض الإشعاع Beamwidth المكافئ للقيمة 3 ديسيبل (17 درجة) في مقابل (8 درجات) للهوائي ذو الربح 24 dBi.



شكل 10: أنماط الإشعاع لهوائيين من طراز RFL-MANT ذوي ربح قدره 19 dBi و 24 dBi

6. إستقطاب الهوائيات Antenna Polarization

تتعامل الحقول الكهربائية والمغناطيسية مع بعضها البعض عند انتقال الإشارة اللاسلكية في الفضاء الطلق.

يقال عن الهوائي بأنه خطي وذو استقطاب شاقولي عندما يتعامد حقله الكهربائي مع سطح الأرض. يشعّ الهوائي الخطي المستقطب بالكامل ضمن مستوى واحدٍ يحتوي اتجاه الإرسال. ينتشر الحقل الكهربائي في حالة الهوائي المستقطب شاقولياً ضمن مستويات متعامدة مع سطح الأرض.

كذلك يدعى الهوائي الذي يتوازي حقله الكهربائي E-Field مع سطح الأرض (أي أن حقله المغناطيسي H-Field يتعامد مع سطح الأرض) بالهوائي المستقطب أفقياً.

ينبغي أن تملك جميع الهوائيات المستخدمة في شبكتك اللاسلكية نفس الإستقطاب مهما كان الإستقطاب الذي ستختاره وبغض النظر عن نوع الهوائي المستخدم. عند استخدام هوائيين يعملان ضمن نفس التردد ولكن باستقطابين مختلفين يحدث ما يسمى بتقاطع الإستقطاب Cross Polarization. يؤدي تقاطع الإستقطاب إلى خسارة في قدرة الإشارة تزيد عن 20 ديسيبل dB.

يمكننا باستخدام الهوائي المستقطب بشكل صحيح:

- زيادة عزل مصادر الإشارات غير المرغوبة وبالتالي تخفيض التشويش.
- تحديد مناطق تغطية مختلفة عبر إعادة استخدام الترددات.

إليك فيما يلي بعض أمثلة الهوائيات المستقطبة شاقولياً:



شكل 11: هوائي قطعي من طراز AntennSpecialisten V470/21 ذو ربح قدره 14 dBi



شكل 12: هوائي من طراز HyperGain HG2412Y ذو ربح قدره 12 dBi وعرض إشعاع 45 درجة

والشكل التالي يظهر هوائياً ذو استقطاب أفقي:



شكل 13: هوائي قطعي مستقطب أفقياً من طراز Ovislink WAE-5822GR ذو ربح قدره 22 dBi يعمل بتردد 5.8 GHz

للمزيد من المعلومات عن أشكال نماذج الحقول الكهربائية (E-Field) ثلاثية الأبعاد راجع الموقع التالي:

http://www.odessaoffice.com/wireless/antenna/how_to_pick_the_right_antenna.htm

7. مجزء / مجمع القدرة Power Divider / Combiner

يستخدم مجزء القدرة (والذي يدعى أحياناً الفاصل Splitter أو المجمع Combiner) لتوصيل عدة هوائيات معاً بجهاز إرسال واحد. يمكننا عبر تجميع الهوائيات تشكيل أنماط إشعاع جديدة وتعديل منطقة التخديم التي توفرها نقطة ولوج واحدة (جهاز إرسال). تتواجد مجزئات القدرة في الحالات التي تتطلب تعديل منطقة التخديم (مثلاً في حالات التكرار Repeater التي ينبغي توصيلها بمناطق لا تقع ضمن خط النظر). تخیل مثلاً شبكة تصل بين قريتين تقع كل منهما في وادٍ منفصل باستخدام مكرر يتوضع على قمة جبل أو هضبة.

يقوم مجزء القدرة بتوزيع القدرة بشكل متساوٍ لكل هوائي ضمن مجموعة الهوائيات. يتطلب هذا الإعداد توفراً خبيراً جيدة في تصميم الهوائيات وذلك لتجنب التصادم الذي قد ينتج عن النقاط الخفية. إن استخدام مجزئات القدرة يتطلب عادة استخدام نقاط ولوج لاسلكية تتضمن بعض الملحقات لمعيار IEEE 802.11 الأساسي يعرف بـ "ملحقات التصويت".



شكل 14: مجزء القدرة HyperGain SC2402N والذي يمكن استخدامه لتوصيل هوائيين بنقطة ولوج واحدة. المصدر: ELIX-Comet

8. عزل الهوائيات Antenna Isolation

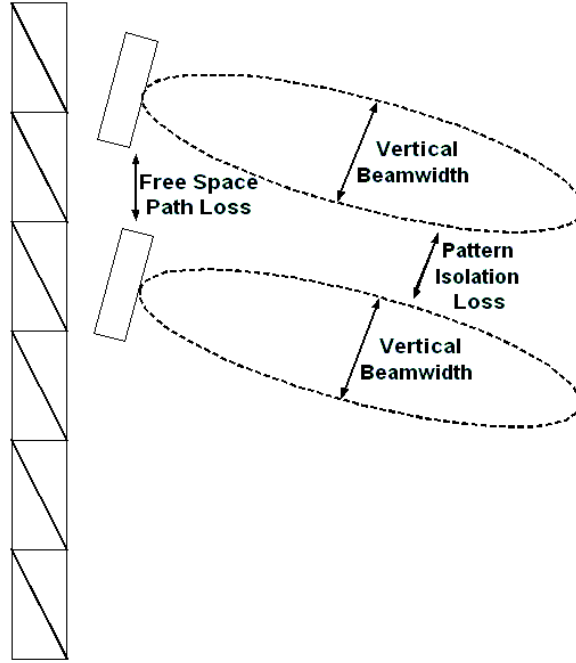
يتوجب علينا عند تركيب هوائيين على نفس البرج ضمان عدم تشويش الإشارات المنبعثة من كل منهما على بعضهما البعض. يتم ذلك بعزل الهوائيات أفقياً أو شاقولياً.

1.8 العزل الشاقولي Vertical Isolation

ينبغي علينا الإنتباه إلى نقطتين أساسيتين عند القيام بتركيب الهوائيات ضمن نفس المستوي الشاقولي:

- خسارة الفضاء الطلق Free Space Loss: يعتمد بشكل مباشر على المسافة بين الهوائيات في البرج، وهو يساوي ضياع القدرة في الفضاء الطلق والناجم عن تجاوز الهوائيات. تعتبر القاعدة العامة بأن مسافة قدرها 3 أمتار ضمن نطاق الترددات 2.4 غيغاهرتز ستنسبب بخسارة فضاء طلق تعادل -49 ديسيبل dB.

- خسارة عزل النمط Pattern Isolation Loss: ويعتمد على شكل نمط الإشعاع لكل من الهوائيات (Beamwidth). إذا كان عرض إشعاع الهوائيات ضيقاً للغاية (أقل من 16 ديسيبل)، لن تكون هذه الخسارة ذات تأثير يذكر.

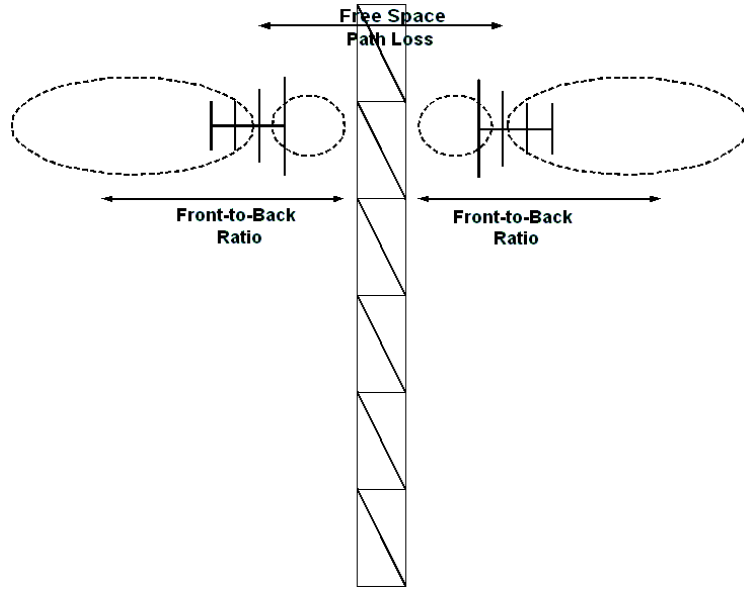


شكل 15: العزل الشاقولي

2.8. العزل الأفقي Horizontal Isolation

كذلك ينبغي علينا الإنتباه إلى نقطتين أساسيتين عند القيام بتركيب الهوائيات ضمن نفس المستوي الأفقي:

- خسارة الفضاء الطلق Free Space Loss: تشابه حالة العزل الشاقولي 3 أمتار من المسافة تتسبب بخسارة قدرها -49 ديسيبل).
- خسارة عزل النمط Pattern Isolation Loss: علينا في هذه الحالة معرفة كمية القدرة التي يرسلها الهوائي في الإتجاه الخلفي Backlobe. يتم قياس كمية هذه القدرة باستخدام نسبة المقدمة للمؤخرة (F/B Front-to-Back). تحسب هذه النسبة بتقسيم كمية الإشارة المرسله في الإتجاه الأساسي (الأمامي) للهوائي على كمية الإشارة المرسله بالإتجاه الخلفي.



شكل 16: العزل الأفقي

تأكد من شراء هوائيات ذات نسبة F/B عالية إذا ما أردت تركيبها ضمن نفس المستوي الأفقي.



شكل 17: العزل الأفقي على برج

تعادل نسبة المقدمة للمؤخرة F/B لهوائي إجهادي جيد حوالي 25 ديسيبل. للحصول على عزل كلي يساوي 60 ديسيبل يتوجب عليك تركيب الهوائيات بتباعد لا يقل عن 50 سنتيمتراً. يعتبر تحقيق ذلك تحدياً كبيراً في حال تركيب الهوائيات على أعلى برج، في حين يسهل تحقيقها عند التركيب على أسطح المباني.

9. الأسلاك المحورية Coaxial Cable

تستخدم الأسلاك المحورية ذات الخسارة المنخفضة لتوصيل مرسل الشبكة اللاسلكية بالهوائي. لا يتصرف السلك المحوري عند استخدامه كناقل للإشارة الراديوية RF كسلك عادي. يحتوي السلك المحوري على

ممانعة Impedance (وهي مقياسٌ لمقاومة التيار في ناقلٍ معين) ثابتةٌ بغض النظر عن طول السلك. يتصرف السلك المحوري عند وجود الإشارة الراديوية RF كخطٍ للإرسال، وفي هذه الحال ينبغي أن تمتلك جميع عناصر الدارة نفس قيمة الممانعة بغية الحصول على أقصى إنتقال للطاقة بين جهاز الإرسال والهوائي. تبلغ قيمة هذه الممانعة على الدوام في تجهيزات نقل البيانات بما فيها الشبكات اللاسلكية WiFi 50 أوم Ohm.

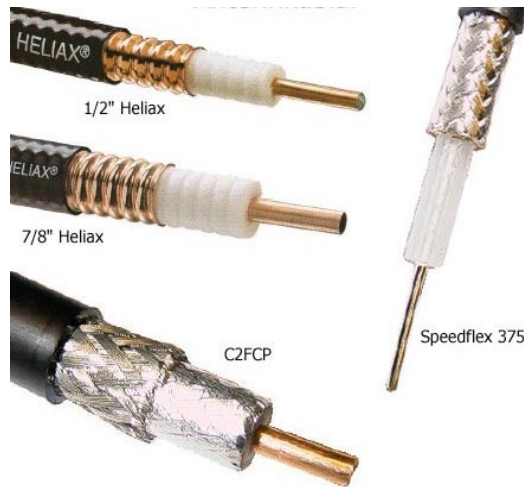
إذا قمنا بتركيب سلك ذو ممانعة لا تساوي 50 أوم فإن الإشارة الراديوية (القدرة) ستعكس ثانيةً إلى جهاز الإرسال عوضاً عن انتقالها للهوائي.

1.9. خسارة الأسلاك Cable Loss

يؤدي استخدام السلك المحوري بين جهاز الإرسال أو الإستقبال والهوائي إلى ضياعٍ في قدرة الإشارة. عند الإرسال تضعف الإشارة المرسلّة باتجاه الهوائي، كما تضعف أيضاً عند انتقالها من هوائي الإستقبال إلى جهاز الإستقبال. لاحظ بأننا نستخدم سلكاً واحداً فقط للإرسال والإستقبال نتيجة استخدام معايير IEEE 802.11 لتقنية ترميز تقسيم الزمن TDM. لا يمكن مثلاً إستقبال الإشارة عندما يقوم جهاز الإرسال بإرسال إشارةٍ ما والعكس صحيح.

نوع السلك	الخسارة في كل 10 أمتار (2.4 GHz)
RG8	3.3 dB
LMR 400	2.2 dB
"Heliax 3/8"	1.76 dB
LMR 600	1.7 dB
"Heliax 1/2"	1.2 dB
"Heliax 5/8"	0.71 dB

جدول 1: الخسارة في الأسلاك المحورية



شكل 18: أنواع الأسلاك (المصدر: Nowire)

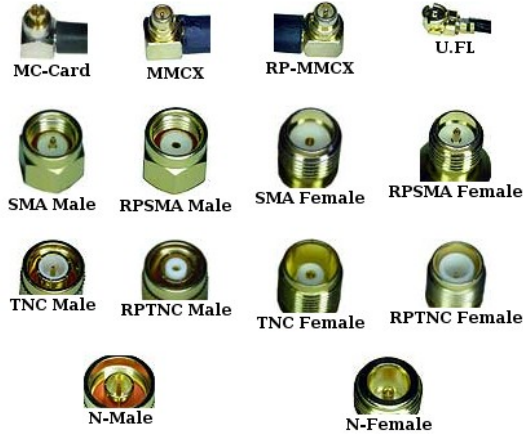
عليك الإنتباه إلى العوامل التالية أثناء اختيار الأسلاك:

- ما هو طول السلك الذي ستحتاجه؟
- هل ستحتاج إلى ثني السلك بزوايا حادة؟
- هل ستحتاج إلى نقل / شحن الأسلاك من خارج البلاد؟

لا يعتمد اختيار الأسلاك على المواصفات الفنيّة وحسب، بل لا بدّ من اعتبار عوامل الكلفة والتوفّر. ننصحك باستخدام الأسلاك من نوع LMR400 أو أفضل للتوصيلات التي تحتاج إلى أكثر من 10 أمتار من الأسلاك، يمكنك استخدام الأسلاك من نوع Speedflex 375 أو LRM400 للتوصيلات التي تقل عن 10 أمتار.

10. موصلات الهوائيات Antenna Connectors

ينبغي عليك القيام باختيار الموصلات الملائمة لتوصيل تجهيزات الشبكة اللاسلكية بالسلك المحوري ولربط السلك المحوري بالهوائي. يحتوي عالم الموصلات على خيارات هائلة لذلك يتوجّب عليك التأكد من معرفة أنواع الموصلات التي ستحتاجها لكي لا ينتهي بك المطاف باستخدام موصلات خاطئة.



شكل 19: مجموعة من الموصلات للأسلاك المحورية (المصدر: Connexwireless)

ثلاثة قواعد أساسية تتعلق بالموصلات:

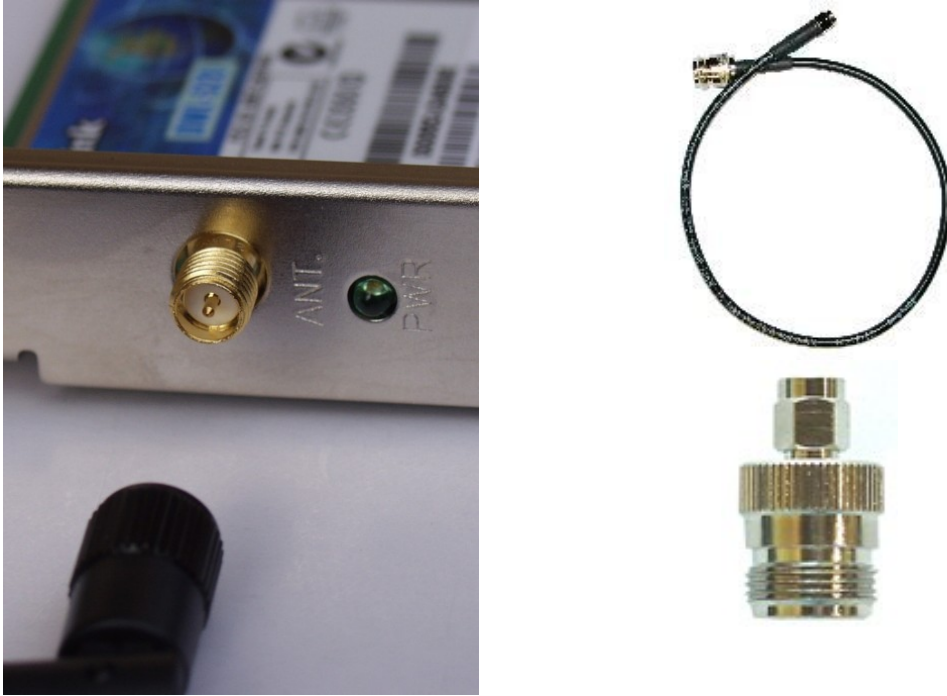
- تمتلك الهوائيات عادةً، بالإضافة إلى جميع العناصر الفعّالة مثل أجهزة الإرسال، موصلاتٍ سلبية Female Connectors.
- تمتلك الأسلاك عادةً موصلاتٍ إيجابية Male Connectors.
- يعتبر الموصل N-type male أو Navy الأكثر استخداماً في الأسلاك الطويلة.

1.10 الضفائر Pigtails

قد يتعدّر في كثير من الحالات ربط جهاز لاسلكي بسلك من نوع Heliax أو LRM400. تنتهي معظم الأسلاك الطويلة (أكثر من 10 أمتار) بموصل من النمط N-type في حين تستخدم غالبية تجهيزات الشبكة اللاسلكية موصلات أصغر بكثير من نمط RPSMA أو RPTNC-type.

الضفيرة Pigtail هي قطعة قصيرة من سلك محوري تحتوي على موصل في كل نهاية لتسهيل توصيل التجهيزات اللاسلكية بالأسلاك الطويلة.

يبين الشكل 20 بطاقة شبكة لاسلكية من طراز D-Link PCI مع موصل من نمط RP-SMA Female. سنحتاج لتوصيل هذه البطاقة بموصل من نمط Heliax N-type Male إلى ضفيرة أو محوّل. ينبغي أن تكون هذه الضفيرة أو المحوّل من نوع RPSMA Male-N Female.



شكل 20: بطاقة شبكة لاسلكية من طراز D-Link PCI مع موصل من نمط RP-SMA Female تحتاج إلى ضفيرة أو محوّل لتوصيلها بسلك محوري ذو موصل من نمط Heliax N-Type Male

تستخدم الضفائر عادة أسلاك LMR195 وتتسبب بخسارة مقدارها 0.2 - 0.4 ديسيبل. يتسبب محوّل التوصيلات الجيد بخسارة تقل عن 0.1 ديسيبل.

في النهاية نوصيك بالعناية بالأسلاك، الموصلات والصفائر لأدائها تشكّل على الدوام مصدراً محتملاً للمشاكل. تعتبر أسلاك نقل الإشارات اللاسلكية والموصلات بشكل خاص عناصر فائقة الدقة والحساسية، لذلك تأكد من معرفة إلى مدى يمكنك ثني الأسلاك التي تختارها وحاذر أن تدوس على أي موصل!

11. مثال عملي: تركيب هوائي في إندونيسيا

تظهر الأشكال التالية بعض المبادئ التي ذكرناها حتى الآن. سنقدم في هذه الفقرة بعض الملاحظات الإضافية عن هذا المشروع بالتحديد.

يبين الشكل 21 إعداد شبكة لاسلكية WiFi من جهة الزبون¹. تظهر تجهيزات الشبكة في موقع الزبون (Client Premises Equipment (CPE) وقد غلّفت بعلمة بلاستيكية مقاومة للماء. نلاحظ وجود وحدة تجسير لاسلكية داخلية من طراز SmartBridge مركبة في الخارج ضمن علبة مقاومة للماء. يعتبر استخدام الوحدات الداخلية لتجهيزات خارجية أسلوباً لتوفير التكاليف بسبب ارتفاع أسعار الوحدات الخارجية. ترتبط وحدة الزبون عبر سلك قصير (نو موصل من نمط SMA) بهوائي قطعي ذو ربح مقداره 24 dBi وموصل من نمط N-type.



شكل 21: شبكة لاسلكية WiFi في موقع الزبون

في مثالنا هذا، تمتلك وحدة SmartBridge² جهاز استقبال لاسلكي ذو قدرة 100 ميلي وات وحساسية - 94 ديسيبل في الملي وات dBm لسرعة نقل البيانات 1 ميغابت في الثانية. يمكن حساب القدرة المرسلة في هذه الشبكة تبعاً لقواعد حساب ميزانية الوصلة المشروحة آنفاً:

$$\begin{aligned} \text{القدرة المرسلة} &= 20 \text{ dBi} + 24 \text{ dBm} - \text{خسائر الأسلاك والموصلات} \\ &= 44 \text{ dBm} - \text{خسائر الأسلاك والموصلات} \end{aligned}$$

إذا اعتبرنا أنّ الخسارة القصوى في الأسلاك تعادل 4 ديسيبل فإنّ هذه الوصلة ترسل 40 ديسيبل في الملي وات (10 dBm وات). نلاحظ للوهلة الأولى بأنّ الطاقة المرسلة تبدو عالية جداً.

¹ ملكية الصور: هنري سياريفودين henry@cgd.co.id

² تعمل هذه الوحدة كجسر إيثرنت للشبكة اللاسلكية، إلا أنّ إنتاجها قد توقف.

لقد تم تثبيت جميع التجهيزات على سطح بناء باستخدام قاعدة L-Bracket. تتصل هذه التجهيزات بالحواسب الموجودة في الطابق الأرضي عبر سلك شبكة مجدول (Unshielded Twisted Pair (UTP)). تتم تغذية التجهيزات بالقدرة الكهربائية باستخدام تقنية نقل القدرة عبر أسلاك الإيثرنت Power Over Ethernet (PoE)). يستخدم سلك مجدول خاص UTP بالتركيب خارج الأبنية أو سلك مجدول محمي Shielded Twisted Pair (STP) لتوصيل هذه الوحدة.



شكل 22: تركيب نقطة الولوج في مجمع الشبكة اللاسلكية

يقوم المهندسون بتركيب نقطة وولوج (SmartBridge Airpoint Pro) مصممة خصيصاً للوصلات بين نقطتين Point to Point خارج المباني في الجهة الأخرى من الوصلة. يتم تركيب نقطة الولوج (كما في حالة موقع الزبون) على سطح المبنى في أعلى برج صغير. نلاحظ على نفس البرج وجود عدة وصلات مخصصة تعمل باستخدام ترددات غير مترابطة.

12. الخلاصة

سيؤثر اختيار الهوائي المستخدم على منطقة التخدم وعلى قدرتك على تخفيض التشويش من المصادر الأخرى بالإضافة إلى ثبات ووثوقية الشبكة اللاسلكية، لذلك عليك أن تختار بعناية هوائياً ذو مواصفات ميكانيكية جيدة. في كثير من الحالات، لن يكفيك الإيفاء بمتطلبات ميزانية الوصلة وحسب للحصول على

الحل الأمثل، مما يدعوكم إلى اعتبار النواحي الأخرى مثل قوة الرياح، الأحوال الجوية، نقل التجهيزات، التوفر وغيرها.

تعتمد إمكانية اختيار الحلول المثلى على قدرتك على استيعاب أنماط الإشعاع وميزانيات الوصلات بالإضافة إلى نوع الخدمة التي ترغب بتقديمها.

يمكن تلخيص الأمور الخمس الرئيسية التي ينبغي عليك تذكرها من هذه الوحدة بما يلي:

1. ماهية أنماط الإشعاع، الميزانيات وأنواع الهوائيات والأسلاك.
2. الحاجة إلى استخدام طيف الترددات بشكل فعالٍ واتباع قوانين تنظيم القدرة.
3. ضرورة الموازنة بين تجهيزات الإرسال / الإستقبال والهوائيات للحصول على القدر الكافي من الإشارة مع هامش بسيط لضمان عمل الوصلة.
4. كيفية تحديد قطاعات تغطية نقاط الولوج وتوجيه الهوائيات لتلائم المنطقة التي ترغب بتغطيتها.
5. كيفية العناية بالأسلاك والموصلات كونها تشكل على الدوام مصدراً محتملاً للمشاكل والأعطال.