

Y.3021

(2012/01)

ITU-T

قطاع تقييس الاتصالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة Y: البنية التحتية العالمية للمعلومات
وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
شبكات الجيل التالي - شبكات المستقبل

إطار توفير الطاقة في شبكات المستقبل

التوصية ITU-T Y.3021

توصيات السلسلة Y الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

البنية التحتية العالمية للمعلومات وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي

البنية التحتية العالمية للمعلومات	
Y.199–Y.100	اعتبارات عامة
Y.299–Y.200	الخدمات والتطبيقات، والبرمجيات الوسيطة
Y.399–Y.300	الجوانب الخاصة بالشبكات
Y.499–Y.400	السطوح البينية والبروتوكولات
Y.599–Y.500	الترقيم والعنونة والتسمية
Y.699–Y.600	الإدارة والتشغيل والصيانة
Y.799–Y.700	الأمن
Y.899–Y.800	مستويات الأداء
ملامح بروتوكول الإنترنت	
Y.1099–Y.1000	اعتبارات عامة
Y.1199–Y.1100	الخدمات والتطبيقات
Y.1299–Y.1200	المعمارية والنفاذ وقدرات الشبكة وإدارة الموارد
Y.1399–Y.1300	النقل
Y.1499–Y.1400	التشغيل البيني
Y.1599–Y.1500	نوعية الخدمة وأداء الشبكة
Y.1699–Y.1600	التشوير
Y.1799–Y.1700	الإدارة والتشغيل والصيانة
Y.1899–Y.1800	الترسيم
شبكات الجيل التالي	
Y.2099–Y.2000	الإطار العام والنماذج المعمارية الوظيفية
Y.2199–Y.2100	نوعية الخدمة والأداء
Y.2249–Y.2200	الجوانب الخاصة بالخدمة: قدرات ومعمارية الخدمات
Y.2299–Y.2250	الجوانب الخاصة بالخدمة: إمكانية التشغيل البيني للخدمات والشبكات
Y.2399–Y.2300	الترقيم والتسمية والعنونة
Y.2499–Y.2400	إدارة الشبكة
Y.2599–Y.2500	معمارية الشبكة وبروتوكولات التحكم في الشبكة
Y.2699–Y.2600	الشبكات الذكية في كل مكان
Y.2799–Y.2700	الأمن
Y.2899–Y.2800	التنقلية المعممة
Y.2999–Y.2900	البيئة المفتوحة عالية المستوى
Y.3499–Y.3000	شبكات المستقبل
Y.3999–Y.3500	الحوسبة السحابية

لمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى قائمة التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات.

إطار توفير الطاقة في شبكات المستقبل

ملخص

تصف التوصية ITU-T Y.3021 إطار توفير الطاقة في شبكات المستقبل (FNs). فهي توضح أولاً الحاجة إلى توفير الطاقة داخل الشبكات نفسها، وتستعرض التكنولوجيات المحتملة الموفرة للطاقة. ثم تحدد التوصية الوظائف الرئيسية وتفاعلاتها الدورية، وتحلل الأثر المحتمل لإدخال تكنولوجيات معينة موفرة للطاقة وتضع بنود المتطلبات رفيعة المستوى لإدخال مثل هذه التكنولوجيات.

السجل الزمني

الطبعة	التوصية	الموافقة	لجنة الدراسات	المعرف الوحيد*
1.0	ITU-T Y.3021	2012-01-13	13	11.1002/1000/11446

* للوصول إلى التوصية يرجى إدخال العنوان URL التالي: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en> في حقل العنوان في متصفح الويب الخاص بك ثم إدخال المعرف الوحيد للتوصية. على سبيل المثال: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات وتكنولوجيات المعلومات والاتصالات (ICT). وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريف، وإصدار التوصيات بشأنها بغرض تقييس الاتصالات على الصعيد العالمي. وتحدد الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (WTSA) التي تجتمع مرة كل أربع سنوات المواضيع التي يجب أن تدرسها لجان الدراسات التابعة لقطاع تقييس الاتصالات وأن تُصدر توصيات بشأنها. وتتم الموافقة على هذه التوصيات وفقاً للإجراء الموضح في القرار رقم 1 الصادر عن الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات. وفي بعض مجالات تكنولوجيا المعلومات التي تقع ضمن اختصاص قطاع تقييس الاتصالات، تعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC).

ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها. والتقييد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيئي والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقييد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقييد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقييد بهذه التوصية إلزامي.

حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من القرائن المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية أو صلاحيتها أو نطاق تطبيقها سواء طالب بها عضو من أعضاء الاتحاد أو طرف آخر لا تشمله عملية إعداد التوصيات.

وعند الموافقة على هذه التوصية، لم يكن الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة المعطيات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB) في الموقع <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2014

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة كانت إلا بإذن خطي مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات.

جدول المحتويات

الصفحة

1	 مجال التطبيق	1
1	 المراجع	2
1	 التعاريف	3
1	1.3 المصطلحات المعرّفة في وثائق أخرى	
2	2.3 المصطلحات المعرّفة في هذه التوصية	
2	 المختصرات	4
3	 اصطلاحات	5
3	 مقدمة	6
3	1.6 الخلفية والدوافع	
4	2.6 مراحل ومستويات دورة الحياة التي يتعين النظر فيها	
4	 استعراض التكنولوجيات الموفرة للطاقة	7
4	1.7 قائمة التكنولوجيات ومستوياتها	
5	2.7 التكنولوجيا على مستوى الجهاز	
6	3.7 التكنولوجيا على مستوى المعدات	
8	4.7 التكنولوجيا على مستوى الشبكة	
11	 اعتبارات من أجل توفير الطاقة	8
11	1.8 المجال المستهدف في هذه التوصية	
11	2.8 تُهَج توفير الطاقة	
13	3.8 التحكم في تشغيل الجهاز و/أو المعدات وفق ديناميات الحركة	
13	4.8 إعادة تسيير الحركة بقدرة أقل	
14	5.8 تصنيف فرادى التكنولوجيات	
15	 الوظائف المحتملة وتفاعلاتها	9
15	1.9 الوظائف المحتملة	
17	2.9 نماذج الجمع بين الوظائف	
18	 تحليل تأثير التوفير في الطاقة	10
18	1.10 التأثير على أداء الشبكة	
19	2.10 التأثير على التهيئة لخدمة	
19	 متطلبات رفيعة المستوى	11
20	 الاعتبارات البيئية	12
20	 اعتبارات الأمن	13
21	 بيليوغرافيا	

إطار توفير الطاقة في شبكات المستقبل

1 مجال التطبيق

إن هذه التوصية:

- توضح الحاجة إلى توفير الطاقة،
- وتستعرض التكنولوجيات المحتملة،
- وتحدد وجهات نظر متعددة يتعين أخذها بعين الاعتبار،
- وتحدد الوظائف الرئيسية وتفاعلاتها الدورية،
- وتحلل الأثر المحتمل لإدخال تكنولوجيات،
- وتضع بنود المتطلبات رفيعة المستوى؛

من أجل تحقيق توفير الطاقة في شبكات المستقبل وفيما ينشأ من جراء هذه الشبكات.

ويمكن أيضاً أن يسري، وأن يستفاد من، الإطار والأفكار الموضحة في هذه التوصية في الشبكات غير المصنفة على أنها شبكات المستقبل، على الرغم من أن الوصف الوارد فيها هو محصلة الاعتراف الكامل بأهداف وغايات تصميم شبكات المستقبل [ITU-T Y.3001].

2 المراجع

تتضمن التوصيات التالية لقطاع تقييس الاتصالات وغيرها من المراجع أحكاماً تشكل من خلال الإشارة إليها في هذا النص جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية. وقد كانت جميع الطبوعات المذكورة سارية الصلاحية في وقت النشر. ولما كانت جميع التوصيات والمراجع الأخرى تخضع إلى المراجعة، يرجى من جميع المستعملين لهذه التوصية السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الأخرى الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة ما في هذه التوصية لا يضفي على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية.

[ITU-T L.1400] التوصية ITU-T L.1400 (2011)، استعراض شامل والمبادئ العامة لمنهجيات تقييم الآثار البيئية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات.

[ITU-T Y.3001] التوصية ITU-T Y.3001 (2011)، شبكات المستقبل: الأهداف وغايات التصميم.

3 التعاريف

1.3 المصطلحات المعروفة في وثائق أخرى

تستخدم هذه التوصية المصطلحات التالية المعروفة في وثائق أخرى:

1.1.3 شبكة المستقبل (FN) [ITU-T Y.3001]: شبكة قادرة على توفير الخدمات والقدرات والتسهيلات التي يصعب توفيرها باعتماد تكنولوجيات الشبكات القائمة حالياً.

2.3 المصطلحات المعروفة في هذه التوصية

تعرف هذه التوصية المصطلحات التالية:

1.2.3 الجهاز: هو العنصر المادي أو تجميع هذه العناصر الذي يهدف إلى أداء الوظيفة المطلوبة.

2.2.3 توفير الطاقة داخل الشبكات: إعداد قدرات الشبكة وعملياتها بطريقة تسمح باستخدام الطاقة الكلية لمعدات الشبكة استخداماً يتميز بالكفاءة على نحو منتظم، مما يفضي إلى انخفاض استهلاك الطاقة مقارنةً مع الشبكات التي تفتقر إلى هذه القدرات والعمليات.

ملاحظة - تشمل معدات الشبكات المسيرّات والبدايات والمعدات عند نقطة الإنهاء مثل وحدات الشبكة البصرية (ONU) والبوابات المنزلية، ومخدمات الشبكة كموازانات الحمولة وجدران الحماية. وعادة ما تتألف معدات الشبكة من مكونات مختلفة مثل نسيج التبديل وبطاقات الخط وإمدادات الطاقة والتبريد.

3.2.3 المعدات: مجموعة من الأجهزة المجمعة معاً لتشكيل كيان مادي من أجل تنفيذ مهمة محددة.

4.2.3 كفاءة طاقة الشبكة: صبيب الشبكة مقسوماً على القدرة المستهلكة.

ملاحظة - عادة ما يعبر عن ذلك بوحدته bps/W.

4 المختصرات

تستخدم هذه التوصية المختصرات التالية:

ALR	معدل الوصلة المتكيف (Adaptive Link Rate)
BTS	محطة قاعدة الإرسال والاستقبال (Base Transceiver Station)
CAM	ذاكرة المضمون القابل للتعنونة (Content Addressable Memory)
CAPWAP	التحكم في نقاط النفاذ اللاسلكية وتهيئتها (Control and Provisioning of Wireless Access Points)
CDN	شبكة إيصال المحتوى (Content Delivery Network)
CPU	وحدة معالجة مركزية (Central Processing Unit)
DDoS	الحرمان من الخدمة الموزع (Distributed Denial-of-Service)
DPD	التشويه الرقمي المسبق (Digital Pre-Distortion)
DVS	أرجحة الجهد الدينامية (Dynamic Voltage Scaling)
FN	شبكة المستقبل (Future Network)
GHG	غازات الدفيئة (Greenhouse Gas)
HVHBT	ترانزستور ثنائي الأقطاب عالي الجهد متباين أنصاف النواقل (High Voltage Heterojunction Bipolar Transistor)
ICT	تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (Information and Communication Technology)
LSI	دمج واسع النطاق (Large Scale Integration)
MIMO	مدخلات متعددة مخرجات متعددة (Multiple Input Multiple Output)
MPLS	تبديل الوسوم بعدة بروتوكولات (Multi-Protocol Label Switching)
NIC	بطاقة السطح البيني للشبكة (Network Interface Card)
ONU	وحدة الشبكة البصرية (Optical Network Unit)
PA	مكبر القدرة (Power Amplifier)
PC	حاسوب شخصي (Personal Computer)
SINR	نسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء (Signal to Interference and Noise Ratio)
SISO	مدخل الإشارة مخرج الإشارة (Single-Input Single-Output)

اتفاق مستوى الخدمة (Service Level Agreement)	SLA
ذاكرة نفاذ عشوائي ساكنة (Static Random Access Memory)	SRAM
معدات المستخدم (User Equipment)	UE
شبكة محلية لا سلكية (Wireless Local Area Network)	WLAN

5 اصطلاحات

لا توجد.

6 مقدمة

1.6 الخلفية والدوافع

حُدّد توفير الطاقة في مجال تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات كقضية هامة في تصميم شبكات المستقبل [ITU-T Y.3001]. ويتمثل أحد الأهداف الأساسية لتطوير شبكات المستقبل في بيان الوعي البيئي الذي يمكن أن يتحقق عن طريق التكنولوجيات الموفرة للطاقة. وقد دُرّس الاقتصاد في استهلاك الطاقة تاريخياً لزيادة الفوائد التي تعود على المستخدم أو الشركة، من قبيل خفض تكاليف الطاقة وإدارة درجة الحرارة من أجل التشغيل المستقر للجهاز.

وتتزايد أهمية هذه القضايا بسبب اتساع رقعة تنفيذ معدات الشبكات والزيادة اللازمة لذلك في استهلاك الطاقة. وتعاضم الأهمية أيضاً من الناحية الاجتماعية لدعم الحد من انبعاثات غازات الدفيئة (GHG). وسترتدي هذه القضايا المزيد من الأهمية في المستقبل. ومن ثم، تدرس هذه التوصية التكنولوجيات المحتملة وعملها المنسق، مما سيسهم في توفير الطاقة وأهداف أخرى مختلفة.

وكثيراً ما تُصنّف مساهمة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في التخفيف من الأثر السلبي على البيئة بعبارتي "مراعاة البيئة بواسطة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات" و"تكنولوجيا المعلومات والاتصالات المراعية للبيئة". فتشير "مراعاة البيئة بواسطة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات" إلى التخفيف من الأثر البيئي لقطاعات غير قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات باستخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات. أما "تكنولوجيا المعلومات والاتصالات المراعية للبيئة" فتشير إلى التخفيف من الأثر البيئي لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات نفسها مثل خفض استهلاك القدرة الكهربائية من الحواسيب الشخصية والخدمات والمسيررات. وبالتالي يمكن تصنيف مساهمة شبكات المستقبل في التخفيف من الأثر البيئي على النحو المبين أدناه.

- مراعاة البيئة بواسطة شبكات المستقبل

تحدي التخفيف من الأثر البيئي في قطاعات غير قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات باستخدام شبكات المستقبل.

يجب أن تصبح شبكات المستقبل أداة مفيدة في التخفيف من الأثر البيئي للقطاعات الأخرى. وما معمارية الشبكة المصممة للشبكات الذكية في توزيع القدرة الكهربائية، أو شبكات الاستشعار في كل مكان التي تراقب التغيرات البيئية للأرض إلا أمثلة قليلة على الكيفية التي يمكن فيها تأويل "مراعاة البيئة بواسطة شبكات المستقبل".

- شبكات المستقبل المراعية للبيئة

تحدي التخفيف من الأثر البيئي لشبكات المستقبل.

يتمثل المبدأ الأساسي لشبكات المستقبل في أن يكون تأثيرها على البيئة بالحد الأدنى. وعلى النحو الموضح أعلاه، يمكن لاستخدام الشبكات أن يوفر وسيلة للتخفيف من الأثر البيئي للقطاعات الأخرى. وبذلك فهو يزيد من حجم الحركة المتدفقة في الشبكات، ويزيد من استهلاك الطاقة في الشبكات وفقاً لذلك، ويفاقم عندئذ من الأثر البيئي. وتقليل استهلاك الطاقة في مرافق الشبكة مثل المسيررات والبدالات والخدمات هو مثال مباشر على مساهمات "شبكات المستقبل المراعية للبيئة".

ولكل قضية أهميتها، ولكن هذه التوصية تركز على "شبكات المستقبل المراعية للبيئة" وهو ما يعني توفير الطاقة داخل الشبكات نفسها، لأن استهلاك الشبكات للطاقة يتزايد بسرعة بتزايد عدد التطبيقات على الشبكات.

2.6 مراحل ومستويات دورة الحياة التي يتعين النظر فيها

من المهم للتخفيف من استهلاك الطاقة، أن يحلَّ استهلاك الطاقة في كل مرحلة من مراحل دورة الحياة. وفي إدارة دورة الحياة، عادة ما تُستخدم المراحل التالية للتحليل (في التوصية [ITU-T L.1400] على سبيل المثال):

- الإنتاج (إعداد المواد الخام والمكونات للهدف)؛
- التصنيع؛
- الاستخدام؛
- التخلص/إعادة التدوير.

وفي حالة الشبكات، تتمثل المرحلة الأولى، أي الإنتاج، في إعداد المواد الخام للأجهزة الإلكترونية الصغيرة وتكوين المعدات التي تتضمنها. وتشمل المرحلة الثانية، وهي التصنيع، بناء شبكة بواسطة المعدات. ولبناء الشبكة، تُنقل فرادى المعدات ذات الصلة من موقع الشركة المصنعة إلى موقع البناء. وتشير المرحلة الثالثة، وهي الاستخدام، إلى تشغيل المعدات. وفي نهاية عمر خدمة الشبكة، يُتخلص من الشبكة بما فيها جميع المعدات و/أو يعاد تدويرها في المرحلة الرابعة، وهي مرحلة التخلص/إعادة التدوير. وتنظر إدارة دورة حياة في كل مرحلة من هذه المراحل. ولكن في حالة الشبكات، يُنظر في المرحلة الثالثة، أي الاستخدام، في المقام الأول لأن مرحلة استهلاك الطاقة في "الاستخدام" عادة ما تكون الإشكالية الرئيسية بالنسبة لمعدات الشبكة المشغلة دائماً، ويمكن التحكم في استهلاك الطاقة في هذه المرحلة بمعمارية الشبكة وقدراتها وعملياتها.

ويشمل توفير الطاقة ضمن الشبكات مجموعة متنوعة من التكنولوجيات. فمن غير الواقعي الاعتماد على تكنولوجيا واحدة. وفي مرحلة الاستخدام، يمكن النظر في ثلاثة مستويات مع تكنولوجياتها ذات الصلة، أي مستوى الجهاز ومستوى المعدات ومستوى الشبكة.

- مستوى الجهاز
- التكنولوجيات المطبقة على الأجهزة الإلكترونية، مثل الدمج واسع النطاق (LSI) والذاكرة.
- مستوى المعدات
- التكنولوجيات المطبقة على إحدى المعدات (مجموعة من الأجهزة) مثل المسير أو المبدل.
- مستوى الشبكة

التكنولوجيات المطبقة على المعدات ضمن الشبكة كلها (كتطبيق بروتوكول تسيير على مسيرات متعددة).

وستتغير التكنولوجيات المصنفة ضمن كل مستوى، وتوليقاتها، وستتطور. وينبغي لشبكات المستقبل إدماج هذه التكنولوجيات واعتماد نموها وتطوراتها بمرونة لتعزيز مؤثراتها الموفرة للطاقة.

7 استعراض التكنولوجيات الموفرة للطاقة

1.7 قائمة التكنولوجيات ومستوياتها

استناداً إلى المستويات الثلاثة المذكورة في الفقرة 6، يمكن تصنيف التكنولوجيات المحتملة المختلفة على النحو التالي:

- التكنولوجيا على مستوى الجهاز
- التصنيع الدقيق للدمج واسع النطاق (LSI)، وحدة المعالجة المركزية (CPU) متعددة النوى، اختصار الميقاتية، الذاكرة الافتراضية المواكبة للقدرة، مكبر القدرة المتقدم (PA).

- التكنولوجيا على مستوى المعدات
- عقدة الشبكة البصرية، التحكم في أسلوب السكون، ALR/DVS، التصميم الحراري، مخدّم التخزين المؤقت، الاصطفاء، مخدّم الأعدار، القولية، محطات قاعدة الارسل والاستقبال (BTS)، تكنولوجيايات الهوائي الذكي، محطات الترحيل
- التكنولوجيا على مستوى الشبكة
- التسيير/هندسة الحركة على أساس استهلاك الطاقة في تبديل الدارات/رشفات الرزم، البروتوكول الخفيف، الجدولة الزمنية للإرسال، شبكة إيصال المحتوى (CDN)، إزاحة ذروة الحركة، تصميم الخلية الصغيرة، تخطيط الشبكة المواكب لاستهلاك الطاقة.
- ويرد في الفقرات 2.7 حتى 4.7 وصف موجز لكل تكنولوجيا على مستويات الجهاز والمعدات والشبكة. وقد يتغير هذا التصنيف في المستقبل بسبب تحسين تكنولوجيايات التنفيذ.

2.7 التكنولوجيا على مستوى الجهاز

1.2.7 التصنيع الدقيق للدمج واسع النطاق (LSI)

في وظيفة معينة و/أو أداء معين، كلما رقت عملية الدمج واسع النطاق، صغر مقياس هذا الدمج. لأن التصنيع الدقيق للدمج واسع النطاق يمكن خفض الجهد المحرك، فيقلل من استهلاك القدرة الذي يتناسب مع مربع الجهد المحرك. وحتى الآن، تقدمت نسبة التحسن بنسبة 30% سنوياً، ولكن هذه النسبة قد تباطأت مؤخراً بسبب زيادة تيار التسرب. وبعض الشركات المصنعة للدمج واسع النطاق تعالج هذا التباطؤ بطرق مختلفة لزيادة النسبة المثوية للتحسن.

2.2.7 وحدة المعالجة المركزية متعددة النوى

أعدت هذه التكنولوجيا لتنفيذ نوى متعددة لوحدة المعالجة المركزية في حزمة معالج واحد. وفي مهمة معينة، يمكن عموماً لاستخدام وحدات معالجة مركزية متعددة منخفضة المواصفات أن تحفظ من الطاقة أكثر من استخدام وحدة معالجة مركزية واحدة عالية المواصفات بسبب خصائص عتاد الأجهزة الإلكترونية. وهو ما يعني أن استهلاك الطاقة يتناسب بشكل عام مع مكعب تردد الميقاتية، وأن وحدات المعالجة المركزية المتعددة تتمتع عموماً بالمزيد من المزايا من حيث استهلاك الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، إذا كان الأداء المطلوب عالياً جداً ولا يمكن أن يتحقق بوحدة معالجة مركزية واحدة، لا يوجد خيار آخر سوى استخدام وحدات معالجة مركزية متعددة.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تشغيل وحدة معالجة مركزية متعددة النوى إلى جانب تكنولوجيايات التحكم الدينامي مثل اختصار الميقاتية (انظر الفقرة 2.3.7) والتحكم في أسلوب السكون (انظر الفقرة 2.3.7). فهي تتحكم في التغذية بالقدرة ومعدل الميقاتية عبر وحدات المعالجة المركزية متعددة النوى، بحيث أن الحد الأدنى المطلوب من عدد من وحدات المعالجة المركزية يمكن أن يعمل بالحد الأدنى من معدل الميقاتية. فإذا تُحكّم بهاتين العليمتين لوحدة المعالجة المركزية، أي عدد وحدات المعالجة المركزية النشطة ومعدل الميقاتية، على نحو كاف وفقاً للحمولة، عندئذ يمكن حفظ الطاقة.

3.2.7 اختصار الميقاتية

هذه تكنولوجيا توقف توريد الميقاتية إلى رقائق الدمج واسع النطاق (LSI) والدارات عندما لا تكون هناك مهام ضرورية. وكلما طالت مدة انقطاع إمدادات الميقاتية الواضحة، أمكن حفظ المزيد من الطاقة. فالإشكالية هي أن كثرة الانتقال بين حالي التشغيل والانقطاع تقلل من حفظ الطاقة لأن ذلك الانتقال يستلزم طاقة إضافية.

4.2.7 الذاكرة الافتراضية المواكبة للقدرة

هذه تكنولوجيا لتحقيق استهلاك الذاكرة الأمثل من الطاقة من خلال التحكم في قطعة نشطة من الذاكرة حسب الطلب والاستخدام الفعليين [b-Huang]. ومن وجهة نظر الاقتصاد في استهلاك الطاقة، تُطبّق هذه التكنولوجيا على الذاكرة الدائرية وذاكرة التخزين المؤقت في عقدة شبكة.

5.2.7 مكبر القدرة المتقدم (PA)

هذا مكبر قدرة يطبق على محطات القاعدة في الشبكات اللاسلكية ويحقق تحسناً عالياً في الكفاءة، وهو أمر يصعب تحقيقه من خلال استخدام التكنولوجيات التجارية القائمة. وبما أن مكبر القدرة وحده يشكل نسبة كبيرة من إجمالي استهلاك قدرة محطات القاعدة في الشبكات اللاسلكية، يمكن لاستخدام مكبرات القدرة عالية الكفاءة يمكن أن يقلل من استهلاك القدرة [b-ATIS]. وينبغي لمكبر القدرة أن يحتسب تطبيق الدارة واختيار المكون وابتكار العملية. وتشمل الأمثلة على ذلك التشويه الرقمي المسبق (DPD) والترانزيستور ثنائي الأقطاب عالي الجهد متباين أنصاف النواقل (HVHBT). وعندما يكون هناك تشويه في مكبر القدرة، يُدخله التشويه الرقمي المسبق في الاتجاه المعاكس لتشويه مكبر القدرة فيلغي التشويه. وترانزيستور HVHBT هو جهاز متقدم في رقاقة لتحسين الكفاءة.

3.7 التكنولوجيات على مستوى المعدات

1.3.7 عقدة الشبكة البصرية

تهدف هذه التكنولوجيا إلى إدخال التكنولوجيات البصرية ذات الكفاءة في استخدام الطاقة من أجل السطوح البينية و/أو أنسجة التبديل مع عقدة الشبكة. فعقدة الشبكة البصرية تمتلك سعة كبيرة جداً بالمقارنة مع عقدة الشبكة الإلكترونية، وتبلغ سرعتها Tbps أو أكثر. ويمكن لذلك أن يحسن كثيراً من كفاءة الطاقة في الشبكة [b-Klein]. ويستند التحسين إلى تجميع كمية كبيرة من الحركة إلى جانب العقدة أو خارج العقدة. إذ أن تناثر تدفقات الحركة لا يمكنه أن يحقق كفاءة طاقة كافية. ويمكن لتبديل الرزم البصري بالكامل أن يحسن كفاءة طاقة الشبكة، لأنه يستغني عن تحويل البصري إلى كهربائي والكهربائي إلى بصري الذي يستهلك عادة كمية كبيرة من الطاقة في عقدة الشبكة. ولكن لا يزال يصعب تحقيق ذلك على نطاق واسع وعملي. وتكمن الصعوبة الرئيسية في حفظ الإشارات الضوئية كما هي في الذاكرة.

2.3.7 التحكم في أسلوب السكون

تحيل هذه التكنولوجيا المعدات والوظائف إلى "أسلوب السكون" عندما لا تُستخدم، فتوفر الطاقة. وعلى مستوى المعدات مثل المسيرات والبدالات في الشبكات السلكية ومحطات القاعدة الراديوية والأجهزة المتنقلة في الشبكات اللاسلكية، عادة ما يُنفذ التحكم في أسلوب السكون على السطوح البينية للمعدات والشبكة. ويعتمد تأثير توفير الطاقة على ديناميكية الحركة. وكلما كبر الفرق بين الحد الأقصى والحد الأدنى للحركة، كبر تأثير توفير الطاقة الذي يمكن تحقيقه. والسبب هو التالي: يكون استهلاك الطاقة في المعدات ثابتاً تقريباً دون التحكم في أسلوب السكون، ويعتمد على الحركة القصوى التي يتعين استيعابها. وبوجود التحكم في أسلوب السكون، إذا قلّت الحركة عبر مسيرات متوازية في فترة معينة عن الحد الأقصى، يمكن تجميع بعض التدفقات دينامياً في مسير واحد، ويمكن للمعدات غير ذات الصلة بالمسير الانتقال إلى أسلوب السكون. ويمكن تخفيض استهلاك الطاقة حسب الحد الأدنى من الحركة.

وفي الشبكات السلكية، تصادف العقبة التي تعترض استخدام هذه التكنولوجيا في التحكم صغير الحجم والرتيب، وذي الشأن مع ذلك، في الحركة التي يراد إيصالها، كحركة معلومات التسيير حتى في غياب حركة البيانات. وبالتالي فإن طريقة معالجة حركة التحكم هي الإشكالية. ويتمثل أحد الحلول في أن يكون هناك "وكيل" يحافظ على حضور الشبكة أثناء عملية أسلوب السكون لأي عقدة شبكة، ويستجيب لحركة الشبكة الرتيبة بدلاً من عقدة الشبكة نفسها. ويرد وصف تفاصيل هذه التكنولوجيا في الإصدار 5.0 من مواصفة الحاسوب ENERGY STAR [b-ESTAR1]. ومن أمثلة التحكم في أسلوب السكون، بروتوكول الإثرت الكفاء في استخدام الطاقة الذي وضعه فريق مهام الإثرت الكفاء في استخدام الطاقة [b-IEEE P802.3az]. وثمة مثال آخر في أسلوب توفير القدرة L2 (كأسلوب القدرة المنخفضة) إلى جانب تكنولوجيات ADSL2plus وADSL2 القائمة.

ومن ناحية أخرى، في الشبكات اللاسلكية، تنفذ برمجيات التحكم في أسلوب السكون وتشغيل أسلوب السكون لمحطات القاعدة الراديوية والأجهزة المتنقلة الموفرة للطاقة، على التوالي. وفي أنظمة محطة القاعدة الراديوية، تقوم برمجيات التحكم

في السكون بإيقاف (إطفاء) النطاق الذي يشهد أنماط حركة منخفضة في تلك الخلية، أو محطة القاعدة الراديوية كلها. وخلال تشغيل أسلوب السكون، تتغير حالة الأجهزة المتنقلة بين حالة السكون وحالة الاستماع. ففي حالة السكون، لا تتواصل الأجهزة المتنقلة مع ما يقابلها من محطات القاعدة الراديوية بفصل تغذية بطارياتها. وفي حالة الاستماع، تتحقق الأجهزة المتنقلة من وجود رسالة إنفاذ من محطاتها القاعدية الراديوية المخدّمة.

3.3.7 معدل الوصلة المتكيف (ALR) وأرجحة الجهد الدينامية (DVS)

هذا أسلوب تشغيل موفر للطاقة. إذ يتحكم معدل الوصلة المتكيف في سرعة الوصلة (أي معدل البتات) للسطح البيني وفقاً لكمية الحركة التي تتعين معالجتها. وتتحكم أرجحة الجهد الدينامية في الجهد المسير لوحدة المعالجة المركزية والقرص الصلب وبطاقة السطح البيني للشبكة (NIC)، وما إلى ذلك، وفقاً لكمية الحركة التي تتعين معالجتها. وتتمثل إشكالية هذه التكنولوجيا في كيفية التعامل مع حركة رشقات الرزم (على سبيل المثال، مدى السرعة من حيث زمن الاستجابة ومدى الكفاءة في حالة التغير المتواتر).

4.3.7 التصميم الحراري

في عقدة الشبكة، يستهلك نظام التبريد قدرًا كبيرًا من الطاقة، وهو ما يعني أن توفير الطاقة يمكن تحقيقه من خلال تحسين التصميم الحراري للعقدة. وينطبق هذا الموضوع أيضاً في الحالة التي توجد فيها عدة عقد في أرضية مركز البيانات.

5.3.7 مخدّم التخزين المؤقت

تخزن المحتويات مؤقتاً بهذه التكنولوجيا للحد من الحركة المكررة وغير الأساسية بالنظر إلى أن العديد من المستخدمين يستهلكون المحتوى نفسه، أو أن مستخدماً واحداً يستهلك محتوى واحداً مرات عدة. ويستفاد من هذه التكنولوجيا في تقليص عرض النطاق. وتتجلى فعاليتها إذا وجدت نسخة من المحتوى باحتمال كبير في مخدّم التخزين المؤقت. وتتمثل إشكالية هذه التكنولوجيا، إذا كان الاحتمال ضئيلاً، في حاجة المخدّم لأداء مهمة التحقق من توفر محتوى، ثم النفاذ إلى المخدّم الأصلي في كثير من الأحيان. فيمكن أن تستخدم المزيد من الطاقة بسبب المهمة اضافية والخدمات الإضافية. ولذا فمن الضروري التحكم في تشغيل المخدّم بالنظر في معدل الزيارات إليه من أجل الحد من استهلاك الطاقة.

6.3.7 الاصطفاء

تمنع هذه التكنولوجيا إرسال البيانات غير الأساسية أو غير الصالحة، كالشطط في رسائل إبقاء الوصلة أو كرسائل المستخدم المكررة. ويشمل مثال آخر على هذه التكنولوجيا أنظمة منع التسلل، المعروفة أيضاً باسم أنظمة كشف التسلل ومنعه. فهي قادرة على منع/اعتراض التسللات المكشوفة بنشاط مثل هجمات الحرمان من الخدمة الموزع (DDoS). بمراقبة حركة و/أو أنشطة الشبكة للوقوف بالمرواد للنشاط الخبيث. وهي إذ تقلل من الحركة، تخفف من استهلاك الطاقة المقابلة التي كانت لازمة أصلاً.

7.3.7 مخدّم الأعدار

يرد هذا المخدّم بجواب بديل أو "عذر" للإعلام بأن الخدمة المطلوبة غير متوفرة لسبب مثل ازدحام الحركة الزمني. وحسب الجواب، قد يقوم بعض المستخدمين بإزاحة الحركة التي بلغت ذروتها على محور الزمن أو قد يتخلون عن مطالبهم، مما يخفف الحركة القصوى ويوفر الطاقة. ولاستكمال الصورة، ينبغي أيضاً أن تحدد الإجراءات التي اتخذها الكيان الذي يتلقى الرسالة. فعلى سبيل المثال، قد لا يعاود الكيان إرسال الطلب لفترة زمنية محددة.

8.3.7 القولية

هذه تكنولوجيا تضبط معدل خرج الرزم بأقل من معدل الوصلة المحتمل. وإذ تضبطه وتخفض الحد الأقصى لمعدل البيانات، يمكنها توفير الطاقة في العقد اللاحقة الأخرى المشغلة وفقاً للحد الأقصى لمعدل البيانات. والإشكالية الرئيسية لهذه التكنولوجيا هي أنها قد تطيل التأخير الناجم عن طابور الانتظار.

9.3.7 محطات قاعدة الارسال والاستقبال (BTS)

هذا نظام محطة قاعدة لتوفير استهلاك القدرة وخفض التكاليف. وعلى عكس محطات قاعدة الارسال والاستقبال المرابطة في الأرض ومحطات قاعدة الارسال والاستقبال الموزعة، لا تتطلب محطات قاعدة الارسال والاستقبال حجرات إيواء ومعدات تبريد على الأرض. إذن، يقل استهلاكها من الطاقة وثمنها وتقل تكاليف تركيبها. وبالإضافة إلى ذلك، فهي قادرة على دعم ميزات عالية الأداء مثل هوائيات متعددة في كل قطاع مع مدخلات متعددة مخرجات متعددة (MIMO) وتشكيل الحزمة [b-Fili].

10.3.7 تكنولوجيا الهوائي الذكي

إن تكنولوجيا الهوائي الذكي مثل MIMO هي خوارزميات ذكية لمعالجة الإشارة باستخدام صفائف هوائيات مع هوائيات متعددة في كل من المرسل والمستقبل، وهي تحسن أداء الاتصالات اللاسلكية. وبما أنها يمكن أن تتحكم في اتجاهية استقبال أو إرسال إشارة وتخفف من التداخل من الإشارات الأخرى، فإنها يمكن أن تدعم معدلات بيانات أعلى في إطار نفس ميزانية قدرة الإرسال ومتطلبات أداء معدل الخطأ في البتات مقارنة مع نظام مدخل الإشارة مخرج الإشارة (SISO). على سبيل المثال، فإن تكنولوجيا الإرسال التعاوني، حيث تتعاون محطات قاعدة متعددة فيما بينها وترسل تدفقات MIMO إلى المطراف باستخدام النطاق الترددي نفسه، تعد بمكاسب محتملة من تحسن الكفاءة الطيفية في زيادة نسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء (SINR). وعلى وجه الخصوص، يمكن لأنظمة الهوائي الموزعة أن توسع تغطية الشبكة المتوفرة بالقرب من مناطق تغطية الخلايا المتراكبة أو ضمنها. ويمكن لهذه التكنولوجيا القائمة على هوائي ذكي أن تحقق الاقتصاد في استهلاك الطاقة في الشبكات اللاسلكية [b-Cui][b-ATIS].

11.3.7 محطة الترحيل

محطة الترحيل هي جهاز إرسال يرسل أو يكرر إشارة واردة من محطة قاعدة أخرى في منطقة لا تغطيها إشارة محطة المنشأ. وتحسن محطة الترحيل الأداء في الشبكات اللاسلكية وتوفر الطاقة أيضاً، ولعل ذلك يعود إلى إنشاء المزيد من التوصيلات بين عقدة المصدر وعقدة المقصد، فيمكن إيصال البيانات من خلال وصلات لا سلكية متعددة بفضل عقد الترحيل. وهذا يعني أن لكل وصلة قنوات خبو مستقلة، لذلك يمكن تحسين مكاسب التنوع والكفاءة الطيفية. ومن ثم، يُختصر الوقت اللازم لإرسال كمية ثابتة من البيانات مما يوفر في استهلاك الطاقة.

4.7 التكنولوجيا على مستوى الشبكة

1.4.7 تبديل الدارات وتبديل رشقات الرزم

يستهلك تبديل الدارات طاقة أقل من تبديل الرزم بشكل عام لأن آليته بسيطة ولا يحتاج إلى أجهزة الذاكرة المستهلكة للطاقة مثل SRAM و CAM التي تُستخدم أساساً لتسيير الرزم. وحتى في هذه الآونة، أُبلغ عن حالة يشكل فيها تسيير الرزم 37% من استهلاك الطاقة من جميع المسيررات [b-Baliga]. وهو ما يعني أن تبديل الدارات يمكن أن يوفر في القدرة لاستغنائها عن وظائف تسيير الرزم. وتتجلى كفاءة تبديل الدارات بوجه خاص في الحركة المستمرة مثل تدفقات الفيديو، والتي يُتوقع أن تزيد زيادة كبيرة في المستقبل. وتتمثل إشكالية هذه التكنولوجيا في عجزها عن تحقيق تعدد الإرسال الإحصائي على مستوى الرزمة، مما قد يتسبب بتردي استخدام الوصلة وبالتالي تردي كفاءة استخدام الطاقة في الشبكة. ومن المعروف جيداً أن كل توصيل في تبديل الدارات يشغل الخط. فحتى لو تناثرت تدفقات الحركة في توصيل ما، تعجز التوصيلات الأخرى عن استخدام المورد المتبقي.

ويمكن أيضاً توفير استهلاك الطاقة في المسيررات الأساسية بتبديل رشقات الرزم. وميزة هذه التكنولوجيا هي أن الرزم تجمع ضمن رشقات بيانات في مسيررات الحافة. ولذلك، تقلل آليتها، باستخدام الرشقات، العمليات في المسيررات الأساسية لحساب كل رأسية رزمة [b-Kim]. ويُستخدم نوع من أنواع تبديل رشقات الرزم في شبكات الألياف البصرية هو تبديل رشقات الرزم البصرية. وهو يهدف إلى تحسين استخدام الشبكة عن طريق تعدد الإرسال الإحصائي. وتتمثل ميزة هذه التكنولوجيا

في استخدام عرض نطاق محجوز للرشقات قبل الإرسال بواسطة رزمة تحكم. وهي أكثر كفاءة فيما يتعلق باستخدام عرض النطاق من تبديل الدارات البصرية نظراً للاختصار الكبير في أزمدة الإنشاء مقارنةً مع تبديل الدارات البصرية. وعلاوة على ذلك، بالمقارنة مع شبكة تبديل الرزم البصرية، فهي تقلل كثيراً من كمية عمليات المعالجة واستهلاك الطاقة في الشبكة الأساسية [b-Peng]. وتظهر إشكالية هذه التكنولوجيا في تأثير أدائها على الشبكة بآلية تجميع الرشقة.

2.4.7 التسيير وهندسة الحركة على أساس استهلاك الطاقة

هذه تكنولوجيا تسيير/هندسة حركة تتحكم عمداً في مسير الحركة للحد من استهلاك الطاقة في جميع أنحاء الشبكة. ويمكن أن تشمل هذه التكنولوجيا بعض معالجة الحركة مثل تجميع الحركة، والتسيير عبر مسيرات متعددة، وتشفير الشبكة. وتفترض هذه التكنولوجيا توفر أسلوب السكون أو وظائف ALR/DVS التي يرد وصفها في الفقرة 3.7 في عقد الشبكة. وعند توفر وظيفة أسلوب السكون، تجمع هذه التكنولوجيا الحركة ضمن مجموعة محدودة من المسيرات، وتسمح للعقد أو الوصلات غير المستخدمة بالعمل في أسلوب السكون حتى يتسنى توفير الطاقة غير اللازمة. وعند توفر وظيفة ALR/DVS، توزع هذه التكنولوجيا الحركة في مسيرات متعددة بحيث تعالج كل عقدة الحد الأدنى من الحركة، وتجعل معدل أو جهد الوصلة في مستوى كاف حتى يتسنى توفير الطاقة غير اللازمة. وتتمثل إشكالية هذه التكنولوجيا في كيفية التعامل مع ديناميات الحركة.

وعند توفر وظيفة تشفير الشبكة، تقلل هذه التكنولوجيا من كمية إرسال الرزم بتشفير فرادى الرزم ضمن رزمة مشفرة في عقد الشبكة المتوسطة. وبالتالي، يمكنها توفير في استهلاك الطاقة [b-Nagajothy]. وهذه التكنولوجيا يمكن أن تكون بالغة الأهمية في شبكة استشعار لا سلكية.

3.4.7 البروتوكول الخفيف

تدرس هذه التكنولوجيا استخدام بروتوكول بالاشتراك مع بروتوكولات في طبقات أخرى وتحقق استخدامه الأمثل لتخفيف معالجة البروتوكول الإجمالية في الشبكة. وهي تشمل إجراء تبسيط بروتوكول شبكة معينة. وثمة نهجان متبعان نطياً. يتمثل أحدهما في نقل الطبقات الدنيا لحركة البيانات، وهو نقل خفيف وأبسط بوجه عام. ويمكن أن يطبق ذلك على منطقة مخصصة مثل الشبكة الأساسية. ويتمثل الآخر في تبسيط البروتوكول أو استخدامه. ويتضمن النهج الأول تبديل الوسوم، كما في تبديل الوسوم بعدة بروتوكولات (MPLS)، ويجرى تحت طبقة بروتوكول الإنترنت. فيما يتضمن النهج الثاني تقارباً من خلال توسيع قدرة بروتوكول الإنترنت من شبكة نفاذ إلى وصلاتها الوسيطة للاستفادة من كامل الربط الشبكي لبروتوكول الإنترنت كمنصة مشتركة [b-ATIS]، ومن بروتوكول التحكم في الإرسال المعدل الذي يحسن خوارزمية إعادة الإرسال، ومن بروتوكول التحكم في نقاط النفاذ اللاسلكية وهيئتها (CAPWAP) الذي يقلل من معلومات التشوير الخدمية للشبكة المحلية اللاسلكية (WLAN) [b-IETF CAPWAP]. وهذه التكنولوجيا يمكن أن تقلل من وظائف لا لزوم لها في عقد الشبكة، الأمر الذي يوفر الطاقة بدوره.

4.4.7 الجدولة الزمنية للإرسال

تهدف هذه التكنولوجيا للحد من الدارات التي يتعين تشغيلها أو تنفيذها في عقد الشبكة. فهي تتحكم في كمية إرسال الرزم وتوقيتها بحيث يمكن تقليل وقت الانتظار إلى أدنى حد في مخرج كل عقدة، وبالتالي تشغيل عدد أقل من الدارات وتوفير الطاقة. وتتمثل إشكالية هذه التكنولوجيا في تردي نسبة فقدان الرزم إذا عجز التحكم عن تلبية السعة المصممة للدارى. فإذا فشلت الجدولة الزمنية، تصل رزم متعددة إلى عقدة ما، وقد يفوق بعضها القدرة المصممة للدارى. ولتجنب فقدان الرزم، قد تدعو الحاجة إلى موارد إضافية من الشبكة لجدولة الإرسال خارج العقدة المستهدفة. والفرق بين ذلك والقبولية (الفقرة 8.3.7) هو أن القبولية تعمل بوصفها قائمة بذاتها في عقدة للحد مما يرد من تدفق الحركة القصوى، وأن جدولة الإرسال تعمل بشكل تعاوني بين عدة عقد للتحكم في توقيت إرسال الرزم في كل عقدة بغية تجنب الازدحام داخل الشبكة.

5.4.7 شبكة إيصال المحتوى (CDN)

هذا هو التنفيذ الأمثل لشبكة مصممة خصيصاً لإيصال المحتويات. ويمكن لهذا التنفيذ الأمثل لشبكة CDN أن يوفر الطاقة لقدرته على النفاذ إلى المخدّم الأقرب من المخدّم الأصلي، لذلك يمكنه حفظ الموارد من حيث عرض النطاق والمسافة، وبالتالي توفير الطاقة [b-Klein]. وإشكالية هذه التكنولوجيا هي نفسها إشكالية مخدّم التخزين المؤقت؛ أي أن هذه التكنولوجيا ليست فعالة جداً إذا كان معدل الزيارات ضئيلاً.

6.4.7 إزاحة ذروة الحركة

تزيح هذه التكنولوجيا أكبر قدر ممكن من إرسال ذروة الحركة على محور الزمن. فهي تقلل الحركة القصوى التي يتعين استيعابها، ومن ثم فهي تقلل من إجمالي استهلاك الطاقة الذي يعتمد على الحد الأقصى للحركة. ومن الأساليب المحددة في هذا الصدد، توزيع المحتوى الرائج على مخدّمات التخزين المؤقت الرئيسية مقدماً، خلال ساعات الذروة.

7.4.7 تصميم الخلية الصغيرة

تُدخل هذه التكنولوجيا خلايا أصغر (خلايا ميكروية وخلايا بيكوية وخلايا فمتوية) إلى أماكن يرتفع فيها الطلب المتنقل على تفريغ حمولة حركة الخلايا الماكروية، مثل مناطق وسط المدينة ومراكز التسوق والمطارات والجامعات والمكاتب كبيرة. وفيما يتعلق بكل خلية، من الواضح أن الخلية الصغيرة تحتاج إلى طاقة أقل لإرسال حركة البيانات مقارنة بالخلية الماكروية لأن خسارة القدرة عبر قناة لا سلكية تتناسب مع مسافة الانتشار α ، حيث α هو أس خسارة المسير، لذلك يمكنها توفير الطاقة اللازمة لإرسال إشارة راديوية. ولكن إذا أخذت القدرة الساكنة وقدرة الدارة وقدرة تبريد الموقع بعين الاعتبار، فإن تصميم الخلية الصغيرة لا يتميز بالكفاءة دائماً في استهلاك الطاقة [b-Chen-a]. وبالتالي فإن الجمع بين خلايا ماكروية وميكروية مع اعتبار القياس الواقعي لاستهلاك الطاقة لدى التخطيط الأمثل للخلية هو ما يحقق أكبر قدر من الكفاءة في استخدام الطاقة. وكذلك، تنفذ نمطاً تكنولوجياً تصميم الخلية الصغيرة في محطات قاعدة الإرسال والاستقبال (BTS) المدججة التي يرد وصفها في الفقرة 9.3.7 مع محطات قاعدة الإرسال والاستقبال الماكروية منشئة شبكات غطاء خلوية [b-INST][b-SCell].

وعلاوة على ذلك، ثمة ميزة محتملة في تصميم الخلية الصغيرة تتمثل في السماح لخطة قاعدة بتعديل تشغيل بيئتها على نحو أكثر دقة ودينامية منه في الخلايا الكبيرة. وللتعديل، يمكن لتصميم خلية صغيرة أن يستغل الخوارزميات التي تتميز بالكفاءة في استخدام الطاقة كخوارزمية الإيقاف المواكب للتغطية التي تسمح لخطة قاعدة بكشف التغطية المكانية القائمة لمحطات أخرى وإيقاف نشاطها، وأسلوب السكون المواكب للحركة الذي يكشف نشاط أجهزة المستخدم (UE) عبر تسقط أنشطة الموجة الحاملة والإيقاف المؤقت للخلايا الصغيرة الحاملة [b-Claussen]. ومن الأمثلة على ذلك خلايا فمتوية منخفضة القدرة، ومحطات قاعدة منخفضة التكلفة لمساحة المنزل الصغيرة. ونظراً لمسافتها القصيرة، يمكن للخلايا الفمتوية أن تحسن تغطية الصوت والبيانات داخل المباني، وأن تقلل كثيراً من قدرة الإرسال، وأن تطيل عمر بطارية المهتفة، وأن تحقق نسبة أعلى للإشارة إلى ضوضاء التداخل [b-Badic]. ويرد شرح خفض استهلاك الطاقة في المرجع [b-Grant]. مزيد من التفاصيل.

8.4.7 تخطيط الشبكة المواكب لاستهلاك الطاقة

تتعامل هذه التكنولوجيا على امتداد الشبكة مع التصميم والتخطيط اللذين يطبقان على كل من الشبكات السلكية واللاسلكية. وحتى الآن، كان تخطيط الشبكة ينظر عادة في الأداء والاعتمادية دون إيلاء الكثير من الاهتمام لتحسين كفاءة استخدام الطاقة والحد من الآثار البيئية. وهذه أمور يتعين أن تؤخذ بعين الاعتبار في تخطيط الشبكة. ولهذا الغرض، ينبغي جمع أنواع مختلفة من المعلومات مثل تقرير استهلاك الطاقة، فضلاً عن المعلومات التقليدية مثل التقارير عن انقطاع الشبكة (كعدد الخسائر، ومدة الانقطاع).

ويتألف تخطيط الشبكة المواكب لاستهلاك الطاقة من جزأين: جزء ساكن وجزء دينامي. فالجزء الساكن فعال في مرحلة ما قبل التشغيل (تصميم الشبكة). ويتمثل في بناء الشبكة المادية ووضع سياسة التسيير لخفض إجمالي استهلاك الطاقة إلى أدنى حد، بشرط أن تُستوعب الحركة القصوى المقدرة المحددة مسبقاً. ومن ناحية أخرى، يكون الجزء الدينامي فعالاً في مرحلة

التشغيل. فهو لإعادة تسير تدفق الحركة القائمة أو للتعامل على عجل مع حركة إضافية جديدة لخفض إجمالي استهلاك الطاقة إلى أدنى حد، شريطة استيعاب الحركة القائمة المقيسة والحركة الجديدة المطلوبة. وكلا النهجين مهمٌ للتوفير في الطاقة المستهلكة في الشبكة. ووفقاً للمرجع [b-Chabarek]، يمكن لتخطيط الشبكة المواكب لاستهلاك الطاقة أن يؤدي إلى توفير ذي شأن في الطاقة. ومن الأمثلة على تخطيط الشبكة الدينامي في الشبكات اللاسلكية تنوع مقاسات الخلية الذي يعدل مقاس الخلية بالتكيف مع تذبذب حمولة الحركة ومتطلبات المستخدم. ويمكن استخدامه لموازنة الحمولة عن طريق نقلها من خلية ذات حمولة ثقيلة إلى خلايا ذات حمولة خفيفة، ويمكن استخدامه لتوفير الطاقة عن طريق تصغير مقاس الخلية حتى الصفر عندما تخف حمولة الحركة بما فيه الكفاية [b-Zhisheng].

8 اعتبارات من أجل توفير الطاقة

يُنظر أولاً في المجال المستهدف لتوفير الطاقة الموضح في الفقرة 1.8. وبعده وفي ظل هذه الشروط المسبقة، تُعتمد بعض الاعتبارات بشأن الاتجاه الواجب اتخاذه لتحقيق توفير الطاقة من جوهر التكنولوجيات المدرجة في الفقرات السابقة.

1.8 المجال المستهدف في هذه التوصية

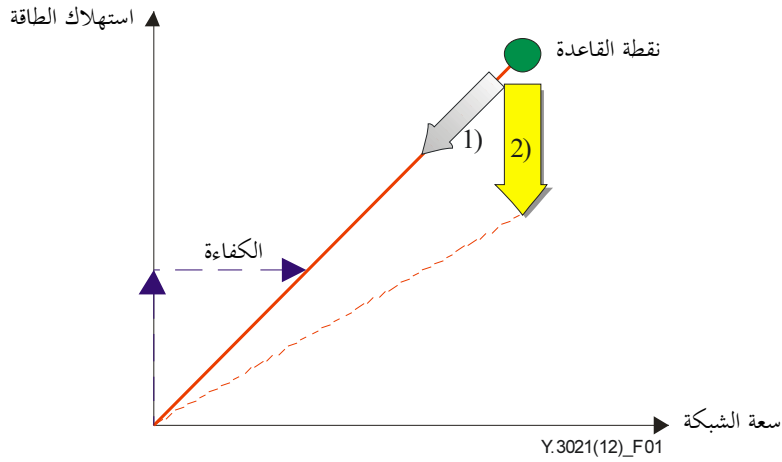
- "شبكات المستقبل المراعية للبيئة" أو "مراعاة البيئة بواسطة شبكات المستقبل"
 - تركز هذه التوصية على "شبكات المستقبل المراعية للبيئة" (الفقرة 1.6).
- مراحل في دورة الحياة
 - تركز هذه التوصية على مرحلة الاستخدام (الفقرة 2.6).
- وتشمل هذه المرحلة مرحلتين ما قبل التشغيل والتشغيل. فتتعامل مرحلة ما قبل التشغيل مع إشكالية السكون المتمثلة في كيفية التقليل إلى أدنى حد من كمية موارد الشبكة المعدة لطلب حركة معين في تصميم الشبكة. فيما تتعامل مرحلة التشغيل مع الإشكالية الدينامية المتمثلة في كيفية استخدام كمية أقل من موارد الشبكة وفقاً للحركة في لحظة معينة خلال تشغيل الشبكة.
- مستويات التكنولوجيات
 - تنظر هذه التوصية في ثلاثة مستويات من التكنولوجيات (مستوى الجهاز، ومستوى المعدات، ومستوى الشبكة).
 - ولا تقف كل تكنولوجيا بمعزل عن الأخريات، بل تتعاون معها على مختلف المستويات. والهدف هو إيجاد حل شامل لكل شيء يتضمن كل مستوى من التكنولوجيات.
- نخط أساليب توفير الطاقة
 - تركز هذه التوصية على الأساليب التقنية.
 - وتتنوع الأساليب ولكل منها نهج مختلف. فبعضها تقني وبعضها الآخر غير تقني. ومن الأمثلة النمطية على الأساليب غير التقنية، التنظيم وفق القانون الذي يخصص وقت استخدام فردي للشبكات لكل مجموعة من المستخدمين محددة سلفاً. والأساليب التقنية وغير التقنية مهمة على السواء، ولكن بما أن هذه التوصية تقنية، فإنها تركز على الأساليب التقنية.

2.8 نُهج توفير الطاقة

تُستخرج نُهج توفير الطاقة على النحو التالي من جوهر التكنولوجيات المدرجة في فقرات السابقة. ويستعان بهذه النُهج التي يرد وصفها في الفقرتين 1.2.8 و 2.2.8 عند النظر في توليفة مناسبة من التقنيات للحصول على منافع معززة.

- خفض السعة المطلوبة للشبكة (الفقرة 1.2.8)
 - تقليل حجم الحركة عبر الشبكة بأكملها (الفقرة 1.1.2.8).
 - إزاحة الحركة في وقت الذروة، مما يقلل من السعة القصوى (الفقرة 2.1.2.8).

- تحسين كفاءة استخدام الطاقة في الشبكة (الفقرة 2.2.8)
- تشغيل جهاز و/أو معدات التحكم وفقاً لديناميات الحركة (الفقرة 1.2.2.8).
- إعادة تسيير الحركة بقدرة أقل (الفقرة 2.2.2.8).



الشكل 1 - استهلاك الطاقة مقابل سعة الشبكة

1.2.8 خفض سعة الشبكة المطلوبة

يستند هذا النهج إلى خفض كم الحركة. فعند خفض الحركة، تنخفض موارد الشبكة والسعة اللازمة، مما يؤدي بدوره إلى خفض استهلاك الطاقة. ويبيّن هذا المؤثر في الشكل 1 كنهج تجاه المنشأ.

1.1.2.8 خفض حجم الحركة عبر الشبكة كلها

هذا نهج ساكن يهدف إلى خفض حجم الحركة المطلوب إرسالها من خلال الأجهزة والمعدات. ومن أمثلة هذا النهج توفير تخزين مؤقت قريب من مدخل الشبكات (مما يقربه من المستخدم) تخفيفاً لاستخدام مورد الشبكة المقابل للمحتوى الذي يكثر النفاذ إليه.

2.1.2.8 إزاحة الحركة في وقت الذروة

إن إزاحة الحركة في وقت الذروة تقلص السعة القصوى. وهي نهج دينامي، حيث يعتمد جزء من استهلاك الأجهزة أو المعدات للطاقة على أقصى قدر من الحركة يمكن التعامل معه، مما يعني إمكانية خفض استهلاك الطاقة إن أمكن خفض الحركة القصوى. وهي نهج دينامي، حيث يعتمد جزء من استهلاك الأجهزة أو المعدات للطاقة في المقام الأول على أقصى قدر من الحركة يمكن استيعابه، مما يعني إمكانية خفض استهلاك الطاقة إن أمكن خفض الحركة القصوى. ويهدف هذا النهج إلى تحريك البيانات على محور الزمن وتخفيف الحركة في وقت الذروة. ومن أمثلة ذلك جدولة المهام، والتي تتيح توزيع المحتويات الرائجة على مخدمات تخزين مؤقت قريبة من المستخدمين سلفاً قبل ساعات الذروة.

2.2.8 تحسين كفاءة استخدام الطاقة في الشبكة

يركز هذا النهج على كفاءة استخدام الطاقة في الشبكة، على افتراض أن السعة المطلوبة للشبكة غير منقوصة. ويبيّن هذا المؤثر في الشكل 1 كنهج تجاه الحد من استهلاك الطاقة. ويحتاج هذا النهج لاعتبار معماري على مختلف المستويات. ويمكن عادة التعبير عن كفاءة استهلاك الطاقة في الشبكات من خلال حساب الصبيب مقسوماً على القدرة المستهلكة، أي بالبت في الثانية/واط، ويعبر عنها هنا بسعة الشبكة المكافئة للصبيب الأقصى. فإن أمكن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في الشبكة بشكل ما، كالتصنيع الميكروي للدمج واسع النطاق (LSI) على أساس قانون مور (Moore)، تبع ذلك خفض إجمالي استهلاك الطاقة وفقاً لهذا التطوير.

1.2.2.8 تشغيل جهاز و/أو معدات التحكم وفقاً لديناميات الحركة

هذا نهج دينامي، حيث تعمل أجهزة الشبكات في العادة بكامل قدرتها وأقصى سرعة لها بغض النظر عن تذبذبات الحركة. ويتحكم هذا النهج في تشغيل الأجهزة أو المعدات وفق تذبذبات الحركة. ومن أمثلة ذلك التحكم في أسلوب السكون.

2.2.2.8 إعادة تسيير الحركة بقدرة أقل

هذا نهج ساكن، حيث ينفذ إرسال البيانات الراهنة على بروتوكولات ذات طبقات معقدة عادةً. ويرمي هذا النهج إلى إرسال البيانات باستخدام آلية مبسطة، وذلك من خلال استخدام الطبقات الأدنى وبروتوكولات خفيفة وهلم جرا. ومن أمثلة ذلك شبكة بصرية يقل فيها التدخل الكهربائي.

ومن القضايا التي تتطلب نظراً بعناية المستهدف (الخدمة أو المعدات) وفترة قياس كفاءة استهلاك الطاقة في الشبكة. وكما أوضح في الفقرة 2.2.3، تعرّف الكفاءة كسبب بيانات الشبكة مقسوماً بالقدرة المستهلكة (بوحدة البت في الثانية/واط عادةً). وترتبط علاقة قوية تتنوع مع الوقت بين حجم البيانات المرسل وطبيعة الخدمة/الخدمات، مما يؤدي إلى اختلاف قيم البت في الثانية/واط. وعلى ذلك، فمن الضروري اختيار المستهدف وفترة قياس الكفاءة بشكل ملائم مع مراعاة خصائص الخدمة والمستخدم (ومثال ذلك، من طرف إلى طرف أو شبكة فرعية معينة) وما إلى ذلك.

وتناقش الفقرتان 3.8 و4.8 النهج الموصوفة في الفقرتين 1.2.8 و2.2.8 بتفاصيل أوفى، وتبين الممارسات المفيدة لمختلف التكنولوجيات.

3.8 التحكم في تشغيل الجهاز و/أو المعدات وفق ديناميات الحركة

ومن التكنولوجيات التي تركز على ديناميات الحركة، التحكم في أسلوب السكون وأرجحة الجهد دينامياً (DVS). ويوفر التحكم في أسلوب السكون في الطاقة عن طريق وضع الجهاز في "أسلوب سكون" عندما يكون غير مستخدم، بينما تعمل أرجحة الجهد دينامياً على خفض سعة إعادة تسيير الحركة في أجهزة مثل وحدات المعالجة المركزية وبطاقات الخطوط وبطاقات الأسطح البينية للشبكات عند انخفاض حجم الحركة. ومن شأن هذه التكنولوجيات أن توفر في الطاقة أكثر عندما تكثر العقد الموضوعة في حالة السكون أو المحفضة من حيث الجهد في شبكة ما. ولهذا تزداد فعالية التحكم في أسلوب السكون وأرجحة الجهد دينامياً عند تطبيقهما على شبكات تتسم بكثرة عدد الأجهزة فيها - مثل التغطية الواسعة وارتفاع الطلب على الحركة وقت الذروة مع انخفاض متوسط أحجام الحركة، وبالتالي انخفاض نسب تشغيل الأجهزة. وتمثل إحدى إشكاليات التحكم في أسلوب السكون، على النحو المبين في الفقرة 1.3.7، في كيفية التعامل مع حركة التحكم الطفيفة مثل معلومات التسيير. وامتلاك "وكيل" هو نهج محتمل في هذا الصدد. ومن ناحية أخرى، تتمثل إحدى إشكاليات أرجحة الجهد دينامياً (DVS)، على النحو المبين في الفقرة 2.3.7، في كيفية التعامل مع حركة رشقات الرزم.

ومن منظور ديناميات الحركة، تتميز حركة الإنترنت بدينامية الزمن وإمكانية تغير المكان. ويكاد استهلاك الطاقة في المسيرات، من ناحية أخرى، أن يكون مستقلاً عن حجم الحركة المرسل لحظياً، ولذلك فإن وضع المسيرات في حالة سكون عندما لا تتدفق فيها حركة يتيح إمكانية محتملة لتوفير الطاقة. ومع ذلك فإن الحركة توزّع في الوضع الحالي لإعادة التسيير وفق المسيرات المحددة مسبقاً ببروتوكولات التسيير أو أساليب أخرى، مما يعني تدفق الحركة في كل مسير حتى عند انخفاض الحجم الكلي للحركة وينشئ حاجة إلى الإبقاء على كل مسير مشغلاً بشكل مستمر. وهذا يوضح تحدياً تقنياً يتمثل في كيفية التحكم في مسيرات الحركة في شبكات بأكملها على نحو يسمح للمسيرات بالدخول في أسلوب السكون.

4.8 إعادة تسيير الحركة بقدرة أقل

من التكنولوجيات الرامية إلى خفض استهلاك الطاقة استخدام التصنيع الميكروي للدمج واسع النطاق وعقد الشبكات البصرية، حيث يؤدي التصنيع الميكروي للدمج واسع النطاق إلى خفض الجهد المحرك و يتيح احتمالات توفير في الطاقة. وأما استخدام عقد شبكات بصرية فيزيدياً من سعة النقل ويحسن كفاءة استهلاك الطاقة في الشبكات تحسناً هائلاً، وإن كان يتطلب جميع الحركة من أجل الاستفادة من السعة الكبيرة المحتملة. تلك هي التكنولوجيات على مستوى الجهاز، وقد

عولجت مباشرة حتى الآن من أجل التوفير في الطاقة. وفي الآن نفسه، لم تحدّد التكنولوجيات على مستوى المعدات والشبكة لذلك الغرض عادةً، بل إنها تنطوي على إمكانية توفير الطاقة في المستقبل.

ومن منظور تكنولوجيا إعادة التسيير، تستخدم شبكات بروتوكول الإنترنت تبديل الرزم الذي يستوعب بكفاءة تطبيقات متعددة بواسطة مؤثر تعدد الإرسال الإحصائي. أما الجانب الآخر للعملية فهو أن الزيادات الأخرى في السرعة وسعة خطوط الإرسال في المستقبل ستطلب تحسين الأداء لأنواع خاصة من الذاكرة عالية السرعة وعالية السعة، وبالتالي، عالية استهلاك الطاقة (مثل ذاكرة النفاذ العشوائي الساكنة (SRAM) وذاكرة المضمون القابل للعبء (CAM) للدرء والتسيير. ولكن حركة الفيديو التي يُتوقع أن تزداد في المستقبل، تتميز بالتوليد المستمر للمعلومات في اتجاه واحد، في حين أن الدورة المرتبطة بحركة الفيديو لا تتغير ولا تلزم قرارات التسيير إلا على أساس كل دورة على حدة. وهذه الخاصية يمكن أن تغني عن ذاكرة المضمون القابل للعبء المعدة بالأصل للتسيير رزمة برزمة، والمناسبة للحركة غير المتجانسة. فإذا تخلصنا من جهاز كهذا يستهلك قدرة عالية، ثمة فرصة تقنية عظيمة لتوفير الطاقة. وتبعاً لذلك، يتمثل أحد التحديات التكنولوجية في بناء آلية إعادة تسيير جديدة لا تتطلب استخدام هذه الأنواع المكلفة من الذاكرة.

5.8 تصنيف فرادى التكنولوجيات

تصنف فرادى التكنولوجيات من حيث مستواها المعمول به ونهجها، على النحو المبين في الجدول 1.

الجدول 1 - تصنيف التكنولوجيات

مستوى التكنولوجيا	تحسين كفاءة الطاقة (الفقرة 2.2.8)		خفض السعة (الفقرة 1.2.8)	
	قدرة أقل (الفقرة 2.2.2.8)	التحكم الدينامي (الفقرة 1.2.2.8)	إزاحة الذروة (الفقرة 2.1.2.8)	خفض الحركة (الفقرة 1.1.2.8)
الجهاز	- التصنيع الميكروي للدمج واسع النطاق - مكبر قدرة متقدم	- وحدة معالجة مركزية متعددة النوى - اختصار الميقاتيات - ذاكرة افتراضية مواكبة للقدرة		
المعدات	- عقدة بصرية - التصميم الحراري - محطات قاعدة الإرسال والاستقبال (BTS) المدمجة - تكنولوجيات هوائيات ذكية - محطة ترحيل	- تحكم في أسلوب السكون - معدل الوصلة المتكيف (ALR)/أرجحة الجهد الدينامية (DVS)	- مخدّم أعذار - القولية	- مخدّم تخزين مؤقت - الاصطفاء
الشبكة	- تبديل الدارات/رشفات الرزم - بروتوكول خفيف - جدولة الإرسال - تصميم الخلايا الصغيرة - تخطيط الشبكة المواكب للطاقة (ساكن)	- تسيير/هندسة حركة - تخطيط الشبكة المواكب للطاقة (دينامي)	- إزاحة ذروة الحركة	- شبكات توزيع المحتوى

وعلى الرغم من فائدة كل هذه التكنولوجيات الموفرة للطاقة وإظهارها لإمكانات ادخار الطاقة التي من شأن الشبكات أن تدعمها، هناك درجة واسعة من الفرق بين صعوبة تحقيق ذلك وبين خفض الطاقة. وتدعو الحاجة إلى مزيد من الدراسات لتحديد التكنولوجيات التي ينبغي أن تكون إلزامية، وتلك التي ينبغي أن تكون اختيارية في شبكات المستقبل. وهذه التوصية لا تحدد ما تقدم، وتفترض أن هذه التكنولوجيات كلها اختيارية.

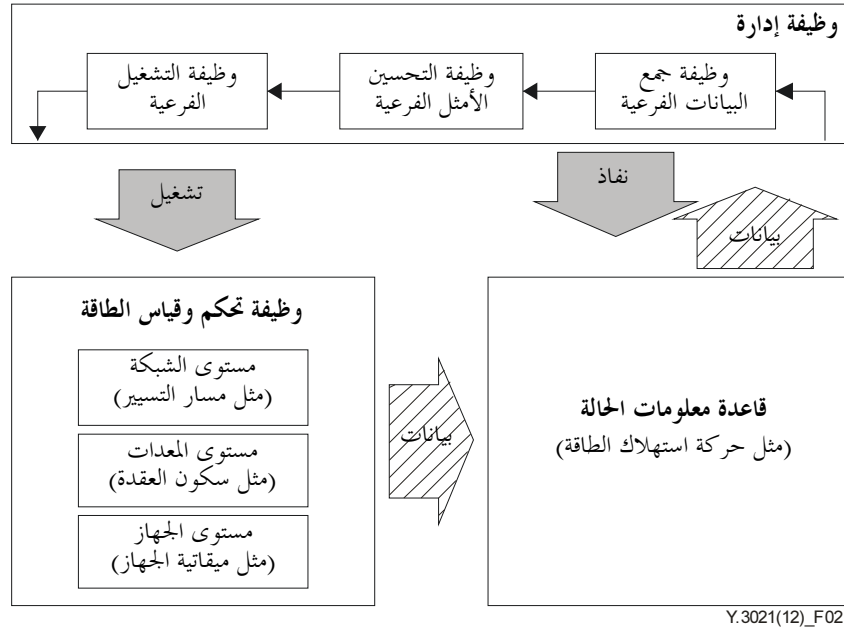
1.9 الوظائف المحتملة

من اعتبارات الفقرة 8، "اعتبارات من أجل توفير الطاقة"، فإن توفير الطاقة ضمن الشبكات ذو طبيعة ساكنة ودينامية على حد سواء. وفيما يتعلق بالطبيعة الساكنة، ينظر توفير الطاقة ضمن الشبكات في كيفية بناء شبكة بتكنولوجيات منخفضة القدرة على مستوى الجهاز والمعدات والشبكة في مرحلة ما قبل التشغيل (تصميم الشبكة)، والتقليل إلى أدنى حد من استهلاك الطاقة الإجمالي للحركة القصوى المفترضة مسبقاً. وفيما يتعلق بالطبيعة الدينامية، ينظر توفير الطاقة ضمن الشبكات في كيفية اعتماد تكنولوجيات التشغيل على مستوى الجهاز والمعدات والشبكة للحركة الفعلية المتنوعة في مرحلة التشغيل والتقليل إلى أدنى حد من استهلاك الطاقة الإجمالي وفقاً لهذه الديناميات.

وللتعبير عن الطبيعة الساكنة، ينبغي أن ينطوي توفير الطاقة على تكنولوجيات على ثلاثة مستويات توصف بأنها عمليات التحكم في الطاقة خلال بناء الشبكة. وللتعبير عن الطبيعة الدينامية، ينبغي أن ينطوي توفير الطاقة بشكل عام على عملية إدارة تجمع الحالات الراهنة وتحللها وتجري إجراءات محسنة تستهدف التشغيل الأمثل. ويمكن تحديد عمليات الإدارة في كل مستوى للتكنولوجيا: مستوى الجهاز ومستوى المعدات ومستوى الشبكة. وقد توجد عمليات الإدارة في كل عقدة شبكة، أو في مخدم إدارة الشبكة الذي يشرف على المعدات الفردية للشبكة. ومن الواضح أن التعاون مطلوب بين مختلف مستويات الإدارة لتحقيق توفير الطاقة في كل أنحاء الشبكة. وبالإضافة إلى عمليات الإدارة، تحتاج الإدارة إلى قاعدة بيانات تتضمن معلومات ذات صلة بالطاقة.

وترد أدناه الوظائف المحتملة التي يمكن أن تكون قابلة للتطبيق عموماً على أي تكنولوجيا موفرة للطاقة. ويبين الشكل 2 هذه الوظائف، بما فيها قاعدة البيانات وتفاعلاتها.

- تنفيذ وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها وإجراءات تحكم لخفض استهلاك الطاقة، على النحو الموصوف في وظيفة إدارة الطاقة، وتحصل على معلومات حالة مقيسة. وهي مقسمة فرعياً إلى تكنولوجيات على مستويات الأجهزة والمعدات والشبكات.
- وتجمع وظيفة إدارة الطاقة معلومات أساسية وتحسب الوضع الأمثل للتشغيل وتصدر أوامر إلى وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها. وهي تتضمن ثلاث وظائف فرعية هي: جمع البيانات والتحسين الأمثل والتشغيل.
- وتجمع قاعدة معلومات الحالة معلومات أساسية عن وضع التشغيل الحالي من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها. وهي تحتوي على معلومات عن جوانب مثل استهلاك الطاقة والحركة.



الشكل 2 - الوظائف المحتملة

الشكل 2 هو شكل منطقي. وموقع الوظائف وقاعدة البيانات مستقل أساساً عن معدات معينة.

1.1.9 وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها

لوظيفة التحكم في الطاقة وقياسها عملية تحكم وعملية قياس.

وكعملية تحكم، تتضمن وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها مجموعة من مختلف التكنولوجيات الموفرة للطاقة التي يرد وصفها في الفقرة 7. وتنقسم فرعياً إلى تكنولوجيات على مستويات الأجهزة والمعدات والشبكات. ومن الأمثلة عن كل مستوى تغيير مقاتيبة الجهاز، وتشغيل عقدة السكون، وتغيير مسار التسيير، على النحو المبين في الشكل 2. وترتبط هذه الوظيفة مباشرة باستهلاك الطاقة، وتديرها وظيفة إدارة الطاقة.

بالإضافة إلى ذلك، لكل مستوى تكنولوجيات ساكنة ودينامية على حد سواء. فالتكنولوجيا الساكنة هي في حد ذاتها تكنولوجيا قائمة بذاتها لتوفير الطاقة، ولا تتأثر بمدخلات من الخارج، مثل التصنيع الميكروي للدمج واسع النطاق والتصميم الحراري. فيما يُتحكم بالتكنولوجيا الدينامية عن طريق مدخلات من الخارج، مثل عقدة السكون والتسيير المعتمد على الطاقة. ويتقرر استهلاك الطاقة للتكنولوجيات الساكنة في مرحلة ما قبل تشغيل الشبكة (تصميم الشبكة)، وهو ثابت. وعلى العكس من ذلك، يُتحكم في استهلاك الطاقة للتكنولوجيات الدينامية على النحو الأمثل في مرحلة التشغيل. وفي الإطار المبين في الشكل 2، تُستخدم وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها للمرحلتين الساكنة والدينامية معاً. ففي المرحلة الساكنة (ما قبل التشغيل)، تبنى وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها باستخدام تكنولوجيات على ثلاثة مستويات دون التفاعل مع غيرها من الوظائف. أما في المرحلة الدينامية (التشغيل)، فتتفاعل وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها مع غيرها من الوظائف.

وكعملية قياس، تتضمن وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها مجموعة من مختلف تكنولوجيات قياس للطاقة التي تتصل بتكنولوجيات التحكم في الطاقة في كل طبقة. وتنقسم هذه التكنولوجيات فرعياً أيضاً إلى تكنولوجيات على مستويات الأجهزة والمعدات والشبكات. ومن الأمثلة عن القياس في كل مستوى، التردد وفترة السكون واستخدام الوصلة.

وبالإضافة إلى ذلك، يلزم تغيير معلمات القياس وأسلوبه عقب صدور قرار من وظيفة إدارة الطاقة، فتشغل وظيفة إدارة الطاقة وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها. وهي تخزن معلومات الحالة المقيسة في قاعدة معلومات الحالة. وتختلف معلمات القياس وأسلوبه وفقاً للنوع المستخدم من تكنولوجيات التحكم في الطاقة ضمن العقدة أو الشبكة.

2.1.9 وظيفة إدارة الطاقة

تنفذ وظيفة إدارة الطاقة إلى قاعدة معلومات الحالة وتدير وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها من أجل تقليل إجمالي استهلاك الطاقة إلى أدنى حد. وهي تتضمن الوظائف الفرعية الثلاث التالية:

الوظيفة الفرعية المعنية بجمع البيانات: تقوم بجمع المعلومات اللازمة عن حالة عقد الشبكة من قاعدة معلومات الحالة.

الوظيفة الفرعية المعنية بالتشغيل الأمثل: تقرر أي عملية إدارة ينبغي أن تنفذ على أي عقدة شبكة لتقليل استهلاك الطاقة الإجمالي إلى أدنى حد.

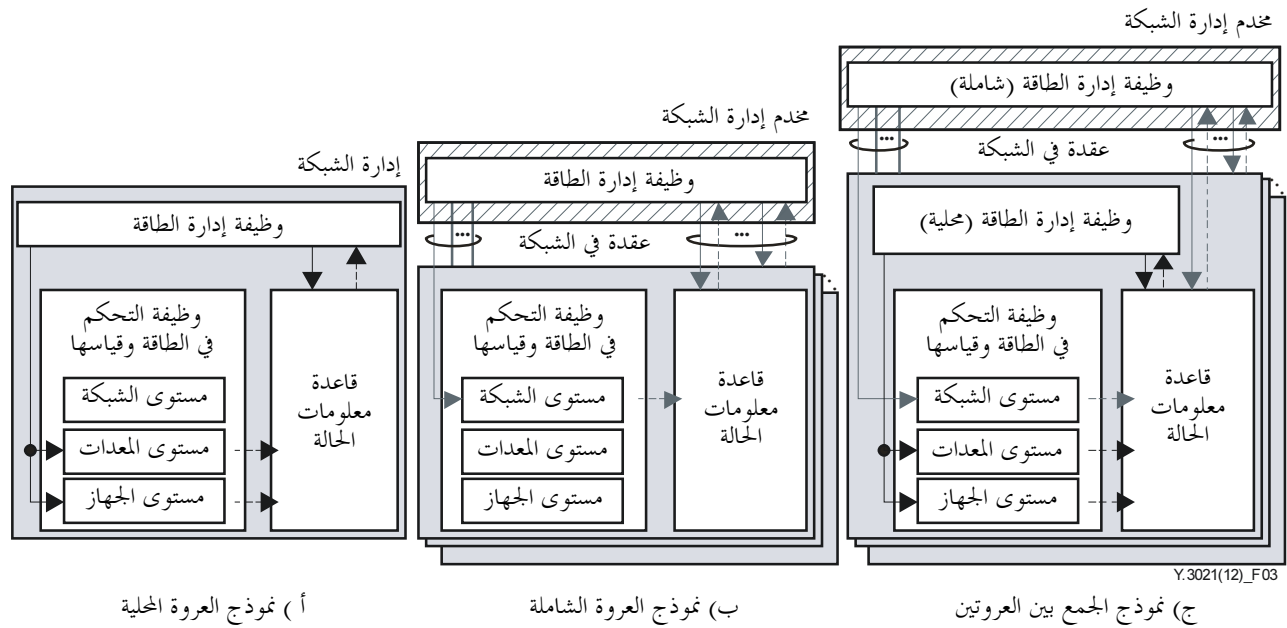
الوظيفة الفرعية العاملة: ترسل طلب تشغيل إلى وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها في عقدة الشبكة.

3.1.9 قاعدة معلومات الحالة

قاعدة معلومات الحالة هي قاعدة بيانات تتضمن مجموعة من معلومات الحالة لتحديد خصائص عقدة الشبكة، مثل استهلاك الطاقة والحركة.

2.9 نماذج الجمع بين الوظائف

تظهر في الشكل 3 نماذج الجمع بين عدة وظائف حدها الإطار المذكور أعلاه. وتظهر في هذا الشكل ثلاثة نماذج. وكلما توسع النموذج المطبق، زادت المنافع المتوقعة من خلال تحقيق النموذج الشامل الأمثل وجمعه مع النموذج المحلي الأمثل. وهنا يُظهر الخط المتصل تدفق التشوير (تشغيل/مراقبة/نفاذ) ويُظهر الخط المنقط تدفق البيانات.



الشكل 3 - نماذج الجمع بين الوظائف الموفرة للطاقة

(أ) نموذج العروة المحلية: عادةً ما يُنشر هذه النموذج على عقدة واحدة في الشبكة، مثل جهاز تسيير أو تبديل. وتوجد في عقدة واحدة وظيفتان رئيسيتان وقاعدة بيانات. وتُغلق عروة التحكم المحلية في العقدة. وتصدر وظيفة إدارة الطاقة أوامر تشغيل على مستوى المعدات وعلى مستوى الجهاز من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، لأن هذين المستويين يُنفَّذان في عقدة واحدة. وقد أُعدت هذه العروة لتحقيق النموذج الأمثل ذاتياً في كل عقدة. والمثال النمطي لهذه الحالة هو التحكم في ميقائية الجهاز وفقاً للحركة.

(ب) نموذج العروة الشاملة: عادةً ما يُنشر هذه النموذج على عقد متعددة في الشبكة، وعلى مخدم واحد لإدارة الشبكة. وتوجد في كل عقدة في الشبكة وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، وقاعدة معلومات الحالة، فيما توجد وظيفة إدارة الطاقة في مخدم إدارة الشبكة. وتمتد عروة التحكم الشاملة إلى العقد ذات الصلة والمخدم. وتصدر وظيفة إدارة الطاقة أوامر تشغيل على مستوى الشبكة من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، لأن هذا المستوى ينفذ بين عدة عقد. وفي هذه العروة، يُفترض أن مخدم إدارة الشبكة ينفذ إلى عدة عقد ويديرها بطريقة مركزية.

والمثال النمطي لهذه الحالة هو التسيير المعتمد الذي يعين المسير الأقل استهلاكاً للطاقة.

(ج) نموذج الجمع بين العروتين: عادةً ما يُنشر هذه النموذج على عقد متعددة في الشبكة، وعلى مخدم واحد لإدارة الشبكة. وتوجد في كل عقدة في الشبكة وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، وقاعدة معلومات الحالة، فيما توجد وظيفة إدارة الطاقة في مخدم إدارة الشبكة. ويشكل نوعان من وظائف إدارة الطاقة، الشاملة والمحلية، جمعاً بين عروتي التحكم. وتتضمن عروة جمع التحكم عروة محلية وعروة شاملة، وتحويل بينهما. وتصدر وظيفة إدارة الطاقة أوامر تشغيل على مستوى المعدات وعلى مستوى الجهاز من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، لأن هذين المستويين ينفذان في عقدة واحدة. وتصدر وظيفة إدارة الطاقة أوامر تحكم على مستوى الشبكة من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، لأن هذا المستوى ينفذ بين عدة عقد. وفي هذا النموذج، ينفذ مخدم إدارة الشبكة إلى عدة عقد ويشغلها بطريقة مركزية، وتؤدي كل عقدة الأداء الأمثل ذاتياً بطريقة موزعة.

والمثال النمطي لهذه الحالة هو التسيير المعتمد على الطاقة، حيث تجمع العروة الشاملة مسيرات الحركة، فيما تحيل العروة المحلية العقدة إلى السكون عندما تغيب الحركة.

10 تحليل تأثير التوفير في الطاقة

تحلل هذه الفقرة تأثير توفير الطاقة ضمن الشبكات، وخصوصاً على جوانب الأداء. فتجرى التحليلات أولاً بشأن التأثير على أداء الشبكة حيثما تُدخل تكنولوجيات توفير الطاقة بمفردها (الفقرة 1.10). ثم يحلل التأثير على التهيئة للخدمة عبر استهلاك الطاقة حيثما تُدخل تكنولوجيات توفير الطاقة مع التهيئة للخدمة جديدة (الفقرة 2.10).

1.10 التأثير على أداء الشبكة

يمكن لإدخال تكنولوجيات توفير الطاقة أن يغير جوانب أداء الشبكة مثل جودة الخدمة، ويمكن أن يؤثر أيضاً على الأمن. فمن ناحية، يمكن للتكنولوجيات الموفرة للطاقة أن تستخدم موارد أو عمليات إضافية. ومن ناحية أخرى، يمكن للتكنولوجيات الموفرة للطاقة أن تحد من استخدام الموارد غير الضرورية على محور الزمان والمكان بحيث يُستخدم الحد الأدنى من الموارد، كالحد الأدنى من المعدات أو أضيق عرض نطاق. وفي كلتا الحالتين، يمكن أن يتردى أداء الشبكة، ويمكن أن تتسبب بزيادة التأخير والازدحام، وانقطاع التوصيل، وما إلى ذلك. فعلى سبيل المثال، يمكن لتكنولوجيا أسلوب السكون أن تخفض استهلاك الطاقة. ولكن إذا طال وقت اللازم لمعاودة النشاط من أسلوب السكون، فقد يطول تأخير الاتصالات. ووفقاً لذلك، تستدعي الضرورة تجنب تردي الأداء، أو حصره ضمن نطاق مقبول يحدّد عادةً باتفاق مستوى الخدمة (SLA). وهو ما يعني أن التكنولوجيات الموفرة للطاقة تتحقق كمقايضة بين توفير الطاقة وتردي الأداء. بيد أن الأمر يعتمد على خدمات التطبيقات أو أنظمة الشبكة من حيث مدى الترددي الذي يمكن تقبله. فعلى سبيل المثال، يمكن للخدمة البريد الإلكتروني المعتادة أن تتقبل تأخيراً لعدة ثوان. لذلك، ينبغي تحديد التأثيرات على أداء الشبكة، ومراقبتها لمعرفة ما إذا كان ترددي الخدمة يمكن التغاضي عنه ويندرج في نطاق مقبول.

وبالتالي، ينبغي تطبيق التكنولوجيات الموفرة للطاقة حيثما يقع ترددي أداء الشبكة، جراء إدخال تكنولوجيات توفير الطاقة، ضمن النطاق المقبول للخدمات محددة.

ويمكن توضيح هذه التأثيرات باستخدام علاقة سعة شانون (Shannon) كما يلي:

- كفاءة النشر مقابل كفاءة استخدام الطاقة.
 - عرض النطاق مقابل القدرة، ضمن معدل بيانات معين حصراً.
 - التأخير مقابل القدرة.
 - الكفاءة الطيفية مقابل كفاءة استخدام الطاقة، ضمن ما يتاح عرض نطاق معين حصراً.
- وتتناسب هذه العلاقات عكسياً في مراحل تخطيط الشبكات وتشغيلها وإدارتها [b-Chen-b] [b-Li]. وينبغي النظر في علاقات المقايضة هذه عند السعي إلى تحقيق توفير في الطاقة بجودة خدمة مضمونة.

2.10 التأثير على التهيئة للخدمة

تتطلب التهيئة للخدمة جديدة عادة قدرات وموارد إضافية يمكن أن تؤدي إلى زيادة في استهلاك الطاقة. ويمكن لإدخال تكنولوجيات توفير الطاقة إلى جانب التهيئة للخدمة أن يخفف من هذه الزيادات في الاستهلاك.

فمع التهيئة للخدمة، تزداد الحركة من أجل الخدمة وتلزم موارد إضافية. ووفقاً لذلك، يزداد إجمالي استهلاك الطاقة بشكل طبيعي. ولكن في حال إدخال تكنولوجيات توفير الطاقة أيضاً بالتزامن مع التهيئة للخدمة، يقل إجمالي الطاقة المستهلكة عن الطاقة اللازمة أصلاً دون هذه التكنولوجيات. فعلى سبيل المثال، في الشبكة الخلوية التقليدية ذات الخلية الماكروية، يمكن إنشاء محطة قاعدة مدمجة مع الخلية الصغيرة أو محطة ترحيل في منطقة حضرية، بحيث تمكن تلبية عدد طلبات حركة المستخدمين بقدر أقل من القدرة. وهذا يعني أن التكنولوجيات الموفرة للطاقة يمكن أن تخفف من الزيادة في استهلاك الطاقة وأن تحسن الكفاءة. وبالتالي، ينبغي تقييم الفوائد المنشودة من التكنولوجيات الموفرة للطاقة بعناية عند التهيئة للخدمات الجديدة. وفي حال إدخال تكنولوجيات أكثر تطوراً في توفير الطاقة، قد يتسنى خفض استهلاك الطاقة إلى حد يكون فيه الخفض أكبر من الزيادة المتأتية من الحركة والموارد الإضافية، وقد يتسنى الإقلال من إجمالي استهلاك الطاقة. في أي حال، ينبغي التهيئة للخدمة مع ضمان إبقاء زيادة استهلاك الطاقة ضمن مدى مقبول.

ومن ثم، عند التهيئة للخدمة، ينبغي تطبيق التكنولوجيات الموفرة للطاقة بحيث تدرج زيادة الاستهلاك، جراء التهيئة للخدمات متعددة في وقت واحد، ضمن مدى مقبول من أجل الوفاء بمتطلبات الخدمة الفردية (من قبيل التأخير والخسارة، وما إلى ذلك).

11 متطلبات رفيعة المستوى

يتيح توفير الطاقة ضمن الشبكات لقدرات الشبكة وعملياتها الحد من استهلاك الطاقة في الشبكة مقارنة مع الشبكات القائمة. ويوصى باعتماد البنود التالية:

(1) النُهج (الفقرة 2.8)

- يوصى بتوفير الطاقة ضمن الشبكات للحد من حجم الحركة التي يتعين على الأجهزة أو المعدات إعادة تسييرها.
- يوصى بتوفير الطاقة ضمن الشبكات لإزاحة الحركة في وقت الذروة، مما يقلل من السعة القصوى.
- يوصى بتوفير الطاقة ضمن الشبكات للتحكم في تشغيل الجهاز/المعدات وفقاً لتذبذبات الحركة.
- يوصى بتوفير الطاقة ضمن الشبكات لإعادة تسيير الحركة بقدرة أقل عن طريق إرسال البيانات بآلية مبسطة.

(2) الوظائف (الفقرة 1.9)

- يوصى بتوفير الطاقة ضمن الشبكات لدعم وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، ووظيفة إدارة الطاقة، وقاعدة معلومات الحالة.

- يوصى بأن تنفذ وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها إجراءات تحكم لخفض استهلاك الطاقة، على النحو الموصوف في وظيفة إدارة الطاقة، وأن تقوم بقياس استهلاك الطاقة. ويوصى بتضمين التكنولوجيات على مستويات الأجهزة والمعدات والشبكات.
- يوصى بأن تقوم وظيفة إدارة الطاقة بجمع المعلومات الأساسية، وحساب الحالة المثلى للتشغيل، وإصدار أوامر التشغيل إلى وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها. ويوصى بتضمين الوظيفة الفرعية المعنية بجمع البيانات والوظيفة الفرعية المعنية بالتشغيل الأمثل والوظيفة الفرعية العاملة.
- يوصى بقاعدة معلومات الحالة لجمع معلومات أساسية عن وضع التشغيل الحالي من وظيفة التحكم في الطاقة وقياسها، مثل استهلاك الطاقة والحركة.

(3) التأثير على أداء الشبكة (الفقرة 10)

- عند إدخال تكنولوجيات موفرة للطاقة، يوصى بتطبيقها بحيث يقع تردي أداء الشبكة (الناجم عن بدء العمل بهذه التكنولوجيات)، ضمن المدى المقبول للخدمات.
- عند التهيئة للخدمة، يوصى بتطبيق تكنولوجيات موفرة للطاقة بحيث تدرج زيادة الاستهلاك، جراء التهيئة لخدمات متعددة في وقت واحد، ضمن مدى مقبول من أجل الوفاء بمتطلبات الخدمة الفردية (من قبيل التأخير والخسارة، وما إلى ذلك).

12 الاعتبارات البيئية

تستعرض هذه التوصية التكنولوجيات الموفرة للطاقة المتعلقة بشبكة المستقبل، وتحلل آثارها، مما يساهم في توفير الطاقة ضمن الشبكات في المستقبل.

13 اعتبارات الأمن

تناقش في هذه التوصية التكنولوجيات الموفرة للطاقة على مستويات متعددة مثل مستويات الجهاز والمعدات والشبكة. وتحدد التفاعلات الدورية بين خواص وظيفية رئيسية لتحديد إطار لتوفير الطاقة عند بناء الشبكات وتشغيلها. وفيما يتعلق بالتكنولوجيات الساكنة، ينبغي ألا تعرض لأي مخاطر أمنية إضافية لأنها لا تتفاعل مع الخارج. ولكن كما في التكنولوجيات الدينامية، يمكن أن تظهر إشكالات أمنية لأنها تدار بوظائف من الخارج. وينبغي النظر في هذه المخاطر الأمنية المحتملة من أجل التخفيف منها عند إدخال تكنولوجيات توفير الطاقة. وينبغي أن تنظر التفاعلات الدورية بين خواص وظيفية رئيسية في كيفية الحفاظ على استقرار التشغيل، وهو إشكالية عامة للآليات التي تعتمد على عروة تغذية مرتدة. وبما أن هذه المخاطرة ترتبط بمعلومات التشغيل للتفاعلات الدورية، ينبغي اختيار المعلومات بعناية. وينبغي لإدخال كل نظام معين أن يكون محكوماً بمزيد من الاعتبارات. ولما كانت بعض التكنولوجيات تتسبب بتعليق إجراءات مثل أسلوب السكون، فقد يختلف زمن الاستجابة لطلب المستخدم عنه أثناء التشغيل العادي. وتنوه هذه التوصية إلى أن تردي الأداء ينبغي أن يندرج ضمن مدى مقبول، وخاصة بالنسبة لاتصالات السلامة العامة والاتصالات في حالات الطوارئ.

بيليو غرافيا

- [b-ITU-T G.992.3] Recommendation ITU-T G.992.3 (2009), *Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2)*.
- [b-ITU-T G.992.5] Recommendation ITU-T G.992.5 (2009), *Asymmetric digital subscriber line 2 transceivers (ADSL2) – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)*.
- [b-ITU-T G.997.1] Recommendation ITU-T G.997.1 (2009), *Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers*.
- [b-ATIS] ATIS 2010, *ATIS Report on wireless network energy efficiency*.
- [b-IETF RFC 5412] IETF RFC 5412 (2010), *Lightweight access point protocol*.
- [b-BBFORUM] Broadband forum TR-202 (2010), *ADSL2/ADSL2plus low-power mode guidelines*, issue 1.
- [b-IEEE P802.3az] IEEE P802.3az Energy efficient Ethernet Task Force.
<<http://www.ieee802.org/3/az/index.html>>
- [b-IETF CAPWAP] IETF CAPWAP Working Group
<<http://www.ietf.org/html.charters/capwap-charter.html>>
- [b-Badic] Badic, B. et al. (2009), *Energy efficient access architectures for green radio: large versus small cell size deployment*, *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)*, IEEE, April, pp.1-5.
- [b-Baliga] Baliga, J. et al. (2007), *Photonic switching and the energy bottleneck*, *IEEE Photonics in Switching*, August, pp.125-126.
- [b-Chabarek] Chabarek, J. et al. (2008), *Power awareness in network design and routing*, *INFOCOM 2008*, IEE, April, pp.457-465.
- [b-Chen-a] Chen, Y. et al. (2010), *Characterizing energy efficiency and deployment efficiency relations for green architecture design*, *IEEE, International Conference on Communications Workshops (ICC)*.
- [b-Chen-b] Chen, Y. et al. (2011), *Fundamental trade-offs on green wireless networks*, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 6, pp. 30-37.
- [b-Claussen] Claussen, H., Ashraf, I. and L.T.W. Ho (2010), *Dynamic idle mode procedures for femtocells*, *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 15, No. 2, pp.95-116.
- [b-Cui] Cui, S., Goldsmith, A.J., and Bahai, A. (2004), *Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 22, No. 6, pp. 1089-1098.
- [b-ESTAR1] ENERGY STAR (2008), *computer specification Version 5.0*.
<http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer/Version5.0_Computer_Spec.pdf?ef97-3c22>
- [b-Fettweis] Fettweis, G. and Zimmermann, E. (2008), *ICT energy consumption – trends and challenge*, *International symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC)*, pp. 2006-2009.
- [b-Fili] Senza Fili Consulting (2010), *Compact base stations: a new step in the evolution of base station design*.
<http://www.senza-fili.com/downloads/SenzaFili_CompactBTS.pdf>
- [b-GeSI] GeSI (2008), *Smart 2020 report*, Global e-Sustainability Initiative (GeSI).

- [b-Grant] Grant, P. (2010), *Green Radio Techniques for Improved Wireless Basestation Design*, IEEE.
- [b-Huang] Huang, H., Pillai, P., and Shin, K.G. (2003), *Design and implementation of power-aware virtual memory*, usenix.org.
- [b-INST] In-Stat, *Small Cell Base Stations Vital to 4G Deployments*.
<<http://www.instat.com/newmk.asp?ID=2810&SourceID=00000652000000000000>>
- [b-Kim] Kim, Y., et al. (2010), *Analysis of energy consumption in packet burst switching networks*, 9th International Conference on Optical Internet (COIN), July, pp.1-3.
- [b-Klein] Klein, T. *Next-Generation Energy Efficient Networks: Overview of the GreenTouch Consortium*, GreenTouch Consortium
<<http://www.greentouch.org/index.php?page=member-projects>>
- [b-Li] Li, G.Y. et al. (2011), *Energy-efficient wireless communications: tutorial, survey, and open issues*, *Wireless Communications*, IEEE, Vol. 18, No. 6, pp.28-35.
- [b-Nagajothy] Nagajothy, M. and Radha, S. (2009), *Network lifetime enhancement in wireless sensor network using network coding*, International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC, June, pp.1-4.
- [b-NICC ND1424] NICC ND 1424 (2008), *Guidelines on DSL power saving models and non-stationary noise in metallic access networks*.
- [b-Peng] Peng, S. et al. (2010), *Burst switching for energy efficiency in optical networks*, 2010 Conference on (OFC/NFOEC) Optical Fiber Communication (OFC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference, March, pp.1-3.
- [b-SCCELL] Octasic, *Small cell basestations*.
<http://www.octasic.com/en/applications/wireless/small_cell.php>
- [b-Zhisheng] Zhisheng, N. et al. (2010), *Cell zooming for cost-efficient green cellular networks*, *Communications Magazine*, IEEE, Vol. 48, No. 11, pp.74-79.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

السلسلة A	تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات
السلسلة D	المبادئ العامة للتعريف
السلسلة E	التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية
السلسلة F	خدمات الاتصالات غير الهاتفية
السلسلة G	أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية
السلسلة H	الأنظمة السمعية المرئية والأنظمة متعددة الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط
السلسلة K	الحماية من التداخلات
السلسلة L	إنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها
السلسلة M	إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات (TMN) وصيانة الشبكات
السلسلة N	الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية
السلسلة O	مواصفات تجهيزات القياس
السلسلة P	المطاريق وطرائق التقييم الذاتية والموضوعية
السلسلة Q	التبديل والتشوير
السلسلة R	الإرسال البرقي
السلسلة S	التجهيزات المطرافة للخدمات البرقية
السلسلة T	المطاريق الخاصة بالخدمات التلمائية
السلسلة U	التبديل البرقي
السلسلة V	اتصالات البيانات على الشبكة الهاتفية
السلسلة X	شبكات البيانات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة ومسائل الأمن
السلسلة Y	البنية التحتية العالمية للمعلومات وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
السلسلة Z	اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات