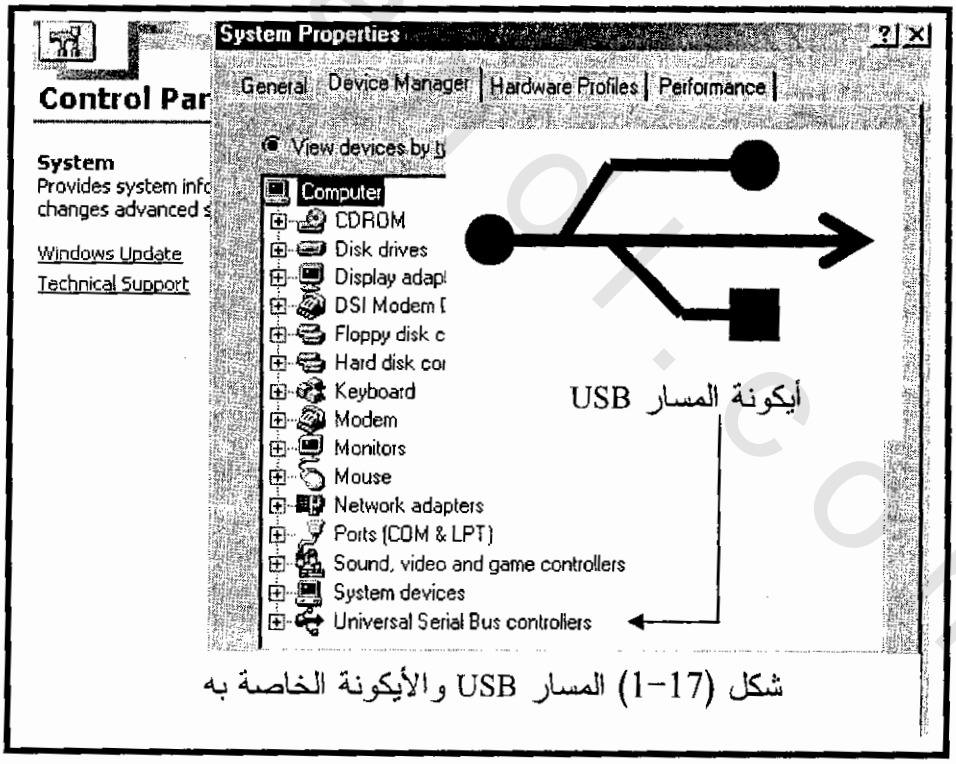
الفصل السابع عشر 17

المسار المتوالى العام
Universal Serial Bus, USB

obeikandl.com

1-17 مقدمة

المسار التوالى العام USB هو مسار خارجى للحاسب تم تصميمه بواسطة العديد من شركات الحاسب وأولهم هى شركة intel ، ولقد عرض هذا المسار فى الأسواق وأتيح للاستخدام سنة 1996 . فى البداية كان معدل نقل البيانات على هذا المسار 12 ميجابت فى الثانية (12Mbps) ، وهذا المعدل الآن وصل إلى 480Mbps فى الإصدار الثانى من هذا المسار . هذا المسار يستطيع التعامل مع عدد من الأجهزة الملحقة بالحاسب يصل إلى 127 جهاز خارجى وذلك من خلال خط مقاطعة IRQ واحد . لكى تستخدم هذه المسار على الحاسب الخاص بك لابد أن تستخدم نظام النوافذ 95 أو أى إصدار أعلى كنظام تشغيل . شكل (1-17) يبين الأيكونة الخاصة بهذا المسار ولكى تعرف إذا كان جهاز الحاسب يحتوى أحد هذه المسارات أو البوابات افتح control panel وانظر إلى المخرج الذى يحتوى هذه الأيكونة . شكل (1-17) يبين ذلك أيضا وأن جهاز الحاسب الذى نتعامل معه يحتوى واحد من هذه المسارات ويمكنك معرفة خط المقاطعة الخاص به بنفس الطريقة .



شكل (1-17) المسار USB والأيكونة الخاصة به

لقد كان عام 1998 آخر عام يصدر فيه جهاز حاسب يحتوى المسار ISA بعد أن خدم هذا المسار فى الحاسبات الشخصية لمدة 15 عاما تقريبا ، وكانت إصداراته هى أول المسارات التى استخدمت فى أجهزة الحاسب ، ولقد استبدل هذا المسار الآن بالمسار USB حتى أن أجهزة الحاسب التى تصدر الآن تحتوى أكثر من مخرج من مخارج هذا المسار . لقد كان هناك أكثر من دافع مهم وراء الحاجة لإصدار هذا النوع من المسارات .

1- السرعة العالية للحسابات التى نعيشها الآن والتى من المتوقع أن تزداد كثيرا مع مرور الوقت لا يواكبها تقدم سريع فى نقل البيانات بين الحاسب والأجهزة المحيطة أو بين حاسب وآخر نظرا لعجز المسارات الحالية عن مواكبة ذلك .

2- خاصية التركيب والتشغيل plug and play غير مدعمة بالكثير من الأجهزة الخارجية حتى الآن ، كما أن معظم الأجهزة الموجودة حاليا لا تركب على الساخن أى فى أثناء تشغيل الحاسب ، وإذا تم تركيبها فلابد من إعادة تشغيل الحاسب حتى يتعرف عليها وإلا فإنه لن يشعر بها . فى وجود المسار USB يمكن لكل الأجهزة المركبة عليه أن تدعم عملية التركيب والتشغيل وكذلك التركيب على الساخن ، لأنه فى وجود هذا المسار يشعر الحاسب فورا بتركيب أو فك أى جهاز . تخيل أنك تقوم بتوصيل أو فصل أحد السواقات أثناء عمل الحاسب ودون الحاجة لإعادة تشغيله !

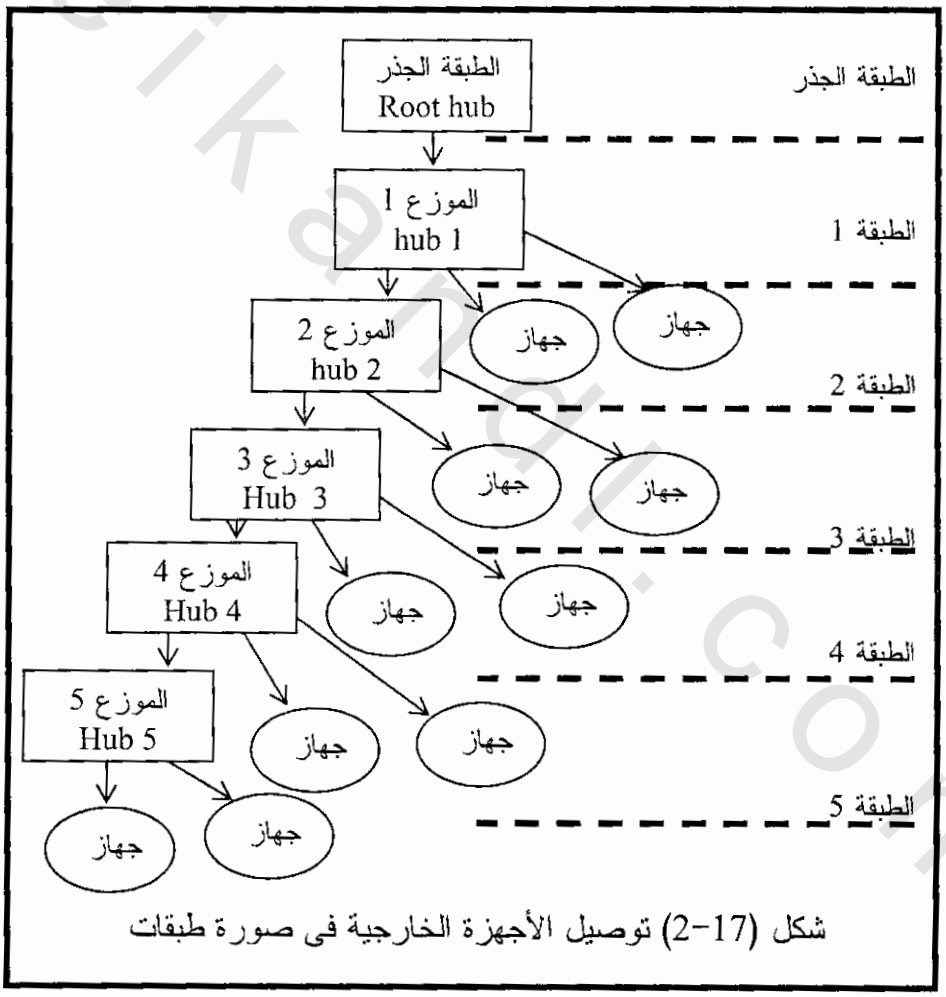
3- خاصية امتداد المخارج ، بمعنى أنه من مسار وحيد USB يمكن تركيب موزع hub يركب عليها أكثر من جهاز ، وعلى هذا الموزع يمكن تركيب موزع آخر يركب عليه هو الآخر أكثر من جهاز وهكذا يمكن تعشيق هذه الموزعات مع بعضها إلى خمسة مستويات ويستطيع الحاسب أن يتعامل مع أى جهاز مركب على أى موزع . هذه الخاصية لم نرها فى المسارات أو المخارج القديمة . هذه الخاصية ستجعل جميع الأجهزة الخارجية يمكنها الاتصال بالحاسب من خلال نفس المخرج ، فلا حاجة لمخرج خاص بالطابعة وآخر خاص بالفأرة وثالث للوحة المفاتيح . الآن من خلال المخرج USB يمكن توصيل كل هذه الأجهزة بدون أى مشاكل .

4- هذا المسار يوفر مصدر القدرة للأجهزة الخارجية من خلال سلكين أحدهما الأرضى والآخر 5 فولت يوفر تيارا حتى 100 ميللى أمبير . هذه الخاصية غير موفرة فى الكثير من المخارج الأخرى مثل المخرج المتوازى مثلا .

باختصار فإن المسار USB يمكن من خلاله تبادل البيانات بين الحاسب المضيف host computer وأنواع عديدة من الملحقات (لوحة مفاتيح ، فأرة ، ماسح ضوئى ، شاشة ، ...) المتصلة به من خلال هذا المسار ، ويسمح لهذه الأجهزة بالدخول والخروج على الساخن كما ذكرنا .

2-17 طريقة توصيل الملحقات على المسار USB

يتم توصيل الملحقات (حتى 127 جهاز) على هذا المسار فى صورة طبقات هرمية كما فى شكل (2-17) . طبقة القمة أو الطبقة الأساسية وتسمى أحيانا بموزع الجذر root hub وهى تعتبر المخرج الأساسى الموجود على الحاسب المضيف . يوصل على الموزع الجذر أجهزة خارجية أو موزعات أخرى تنقل إلى طبقة أخرى كما فى الشكل . أقصى عدد لهذه الطبقات هو سبعة طبقات بما فى ذلك طبقة الجذر وآخر طبقة . الوصلات بين هذه الطبقات تكون باستخدام كابلات طولها حتى 5 متر فى حالة المسارات البطيئة (1.5Mbps) و 3 متر فى حالة المسارات السريعة (12Mbps) .

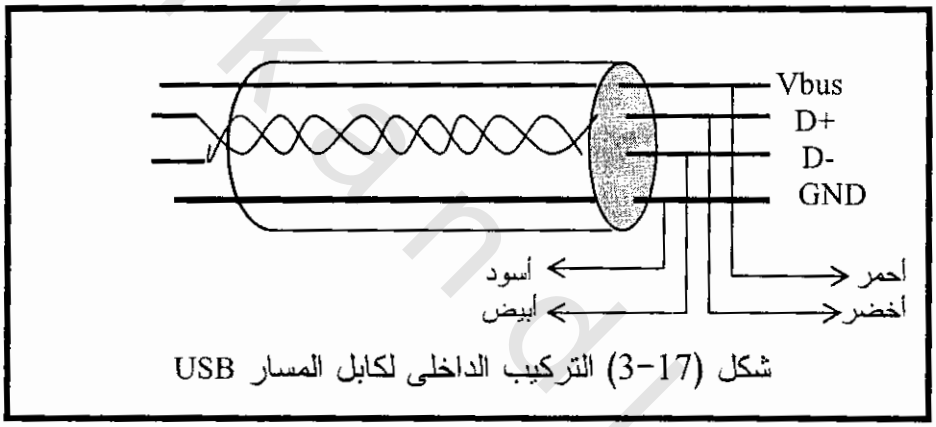


شكل (2-17) توصيل الأجهزة الخارجية فى صورة طبقات

كما نرى فى شكل (17-2) فإن الأجهزة المركبة على أى موزع تكون إما جهاز فعلى مثل لوحة المفاتيح أو الطابعة ، أو موزع آخر يبدأ طبقة جديدة من طبقات التوصيل .

17-3 كابل المسار USB

يحتوى كابل المسار على أربع أسلاك كما فى شكل (17-3) . نلاحظ من هذا الشكل أن الكابل يحتوى أربعة أسلاك ، إثنان منهما للبيانات +D و -D وهما ملفوفان على بعضهما twisted pair ويميز السلك +D باللون الأخضر والسلك -D باللون الأبيض . السلكان الآخران للقدرة ، الأول Vbus وهو خط القدرة 5V ولونه أحمر ، والسلك الأخير هو الأرضى ولونه أسود . جدول 17-1 يبين هذه الأسلاك وأرقام اتصالها بقاعدة الكابل من الطرفين .



شكل (17-3) التركيب الداخلى لكابل المسار USB

جدول 17-1

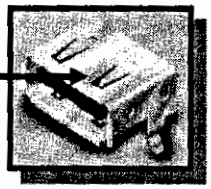
اللون	الإشارة	رقم الطرف
أحمر	Vbus	1
أبيض	D-	2
أخضر	D+	3
أسود	GND	4

شكل (17-4) يبين صورة النهايات الطرفية لكابل المسار USB . نلاحظ فى هذا الشكل أن النهاية الطرفية التى تركب فى الحاسب المضيف تسمى الطرف A

بينما الطرف الذى يوصل على الجهاز الخارجى أو الموزع تسمى الطـرف B وهذه التسمية قياسية ومتفق عليها .

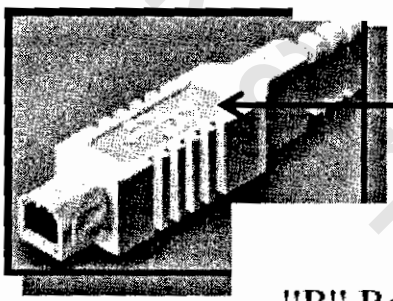
"A" Plugs

الطرف A للكابل الذى يوصل على مخرج الحاسب المضيف



"A" Receptacles

الفيشة أو المخرج الموجود على الحاسب المضيف



"B" Plugs

الطرف B للكابل الذى يوصل على الجهاز الخارجى .

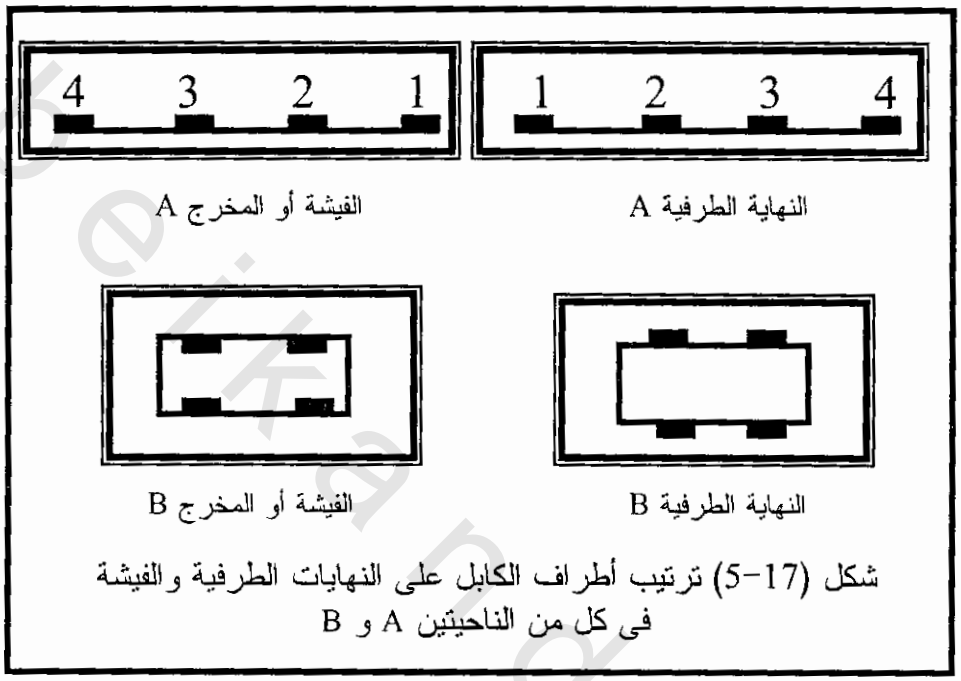
"B" Receptacles

الفيشة أو المخرج الموجود على الجهاز الخارجى

شكل (17-4) النهايات الطرفية والفيش الخاصة بالكابل USB

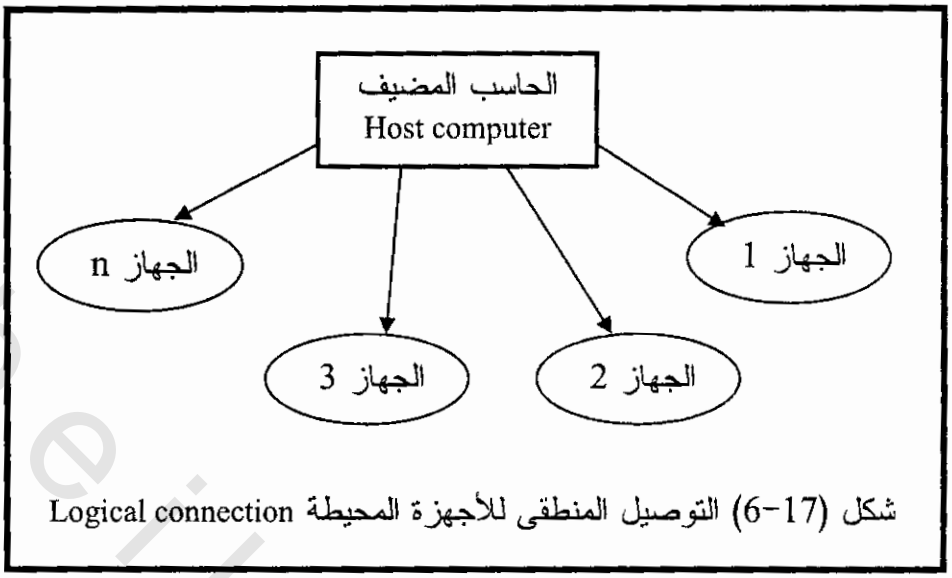
شكل (17-4) يبين أيضا شكل المخرج أو الفيشة الخارجة من كل من الحاسـب المضيف والجهاز الخارجى . لاحظ أن الكابل يمكنه أن يوصل بـين الحاسـب المضيف وجهاز خارجى أو موزع كما رأينا . يمكن أيضا أن يوصل الكابل بين موزع وموزع آخر . فى كل هذه الأحوال الطرف A و الفيشة A يشيران دائمـا لقمة هرم التوصيل upstream ، بينما الطرف B والفيشة B فيشران إلى قاعـدة الهرم downstream .

شكل (17-5) يبين ترتيب أطراف الكابل على النهايات الطرفية وكذلك على الفيشة الخاصة بكل من الطرف A والطرف B . لاحظ أن المخارج هنا لا تكون فى صورة مسامير وثقوب كما كان الحال مع المخارج المتوازية أو المخارج المتوالية ، ولكنها تكون فى صورة كارتة مطبوعة .



شكل (17-5) ترتيب أطراف الكابل على النهايات الطرفية والفيشة فى كل من الناحيتين A و B

شكل (17-2) يبين طريقة توصيل الأجهزة الخارجية على الحاسب المضيف من خلال المسار USB وباستخدام موزعات hubs حتى خمسة مستويات . هذا التوصيل هو ما نسميه التوصيل الطبيعى أو الحقيقى physical connection . بالرغم من هذه الطريقة فى التوصيل إلا أن الحاسب ينظر لكل هذه الأجهزة كما لوكانت موصلة عليه مباشرة من خلال الموزع الأساسى root hub ويتعامل مع كل جهاز بعنوان معين يحدده الحاسب (نظام التشغيل) . هذه الطريقة فى التوصيل هى ما نسميه التوصيل المنطقى logical connection . شكل (17-6) يبين العديد من الأجهزة المحيطة (حتى 127جهاز) موصلة على الحاسب المضيف توصيلا منطقيا . أى أن الحاسب لا يهمه ولن تؤثر فى طريقة تعامله إذا كان هذا الجهاز موصلا من خلال موزع أو أكثر أو موصلا مباشرة على الموزع الأساسى .



شكل (17-6) التوصيل المنطقى للأجهزة المحيطة Logical connection

17- 4 الموزع HUB

يعتبر الموزع hub أحد المكونات الأساسية فى أى نظام للمسار USB . شكل (17-7) يبين رسما تخطيطيا لأحد هذه الموزعات . كل نقطة من نقاط التوصيل على الموزع تسمى بوابة أو منفذ port . كل موزع كما نرى فى الشكل يحول بوابة إدخال واحدة إلى العديد من بوابات الإخراج ، أى أنه يحول مدخل واحد إلى العديد من المخارج ، أو بمعنى آخر يوزيع الإشارة الداخلة على العديد من المخارج . مدخل الموزع هو الذى يوصل عليه الإشارة الداخلة من ناحية الحاسب المضيف ، بينما المخارج فتوصل إما على أجهزة أو على موزع آخر . يمكن للموزع أن يشعر أو يحس بأى جهاز أو أى موزع آخر يتم توصيله أو فصله على أو من أى واحد من المخارج . كل مخرج من مخارج الموزع يمكن ضبطه برمجيا ليعمل على أحد معدلات النقل الثلاثة التالية : المعدل العالى High speed ومقداره 480Mbps أو المعدل المتوسط full speed ومقداره 12Mbps أو المعدل المنخفض low speed ومقداره 1.5Mbps. يتكون أى موزع من ثلاثة أجزاء أساسية هى :

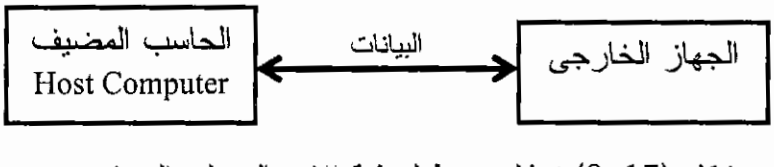
1- حاكم الموزع Hub controller
2- المكرر أو المجدد Hub repeater
3- الموزع Transaction translator

المكرر أو المجدد هو الجزء الذى يقوم بتكرار الإشارة الداخلة للموزع تمهيدا لإرسالها على أحد المخارج . أما الحاكم فهو الجزء الذى يتعامل مع الحاسب المضيف من خلال أوامر تحكم control command وأوامر حالة status command تضبط بها عملية الاتصال من حيث السرعة وعوامل أخرى سنراها فيما بعد . وأخيرا فإن الموزع هو الخاص بتوزيع البيانات الداخلة إلى المخارج المناسبة وبمعدل النقل الخاص بكل واحد من هذه المخارج حيث من الممكن لكل مخرج أن يعمل عند السرعة الخاصة به .

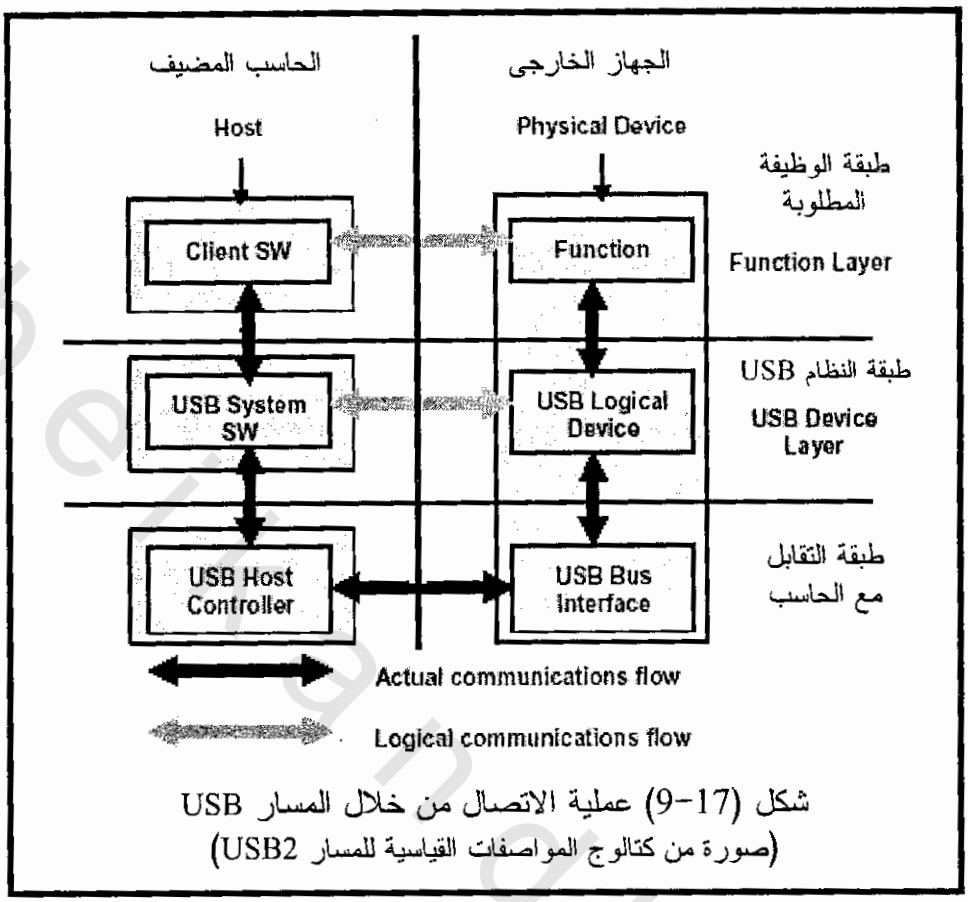
شكل (17-7) رسم تخطيطى للموزع Hub

17-5 تدفق البيانات على المسار USB

شكل (17-8) يبين تمثيلا لعملية الاتصال أو تدفق البيانات بين الحاسب المضيف وأى جهاز خارجى فى أبسط صورة ، ولكن عملية الاتصال تكون أعقد من ذلك بكثير . شكل (17-9) يبين عدد من الطبقات أو المناطق التى تمر خلالها عملية الاتصال بين الحاسب المضيف وأى نظام USB وهى كما يلى :



شكل (17-8) تمثيل بسيط لعملية الاتصال على المسار USB



شكل (17-9) عملية الاتصال من خلال المسار USB
(صورة من كتالوج المواصفات القياسية للمسار USB2)

1- طبقة الجهاز الخارجي ممثلة فى الوظيفة التى يؤديها هذا الجهاز مثل لوحة المفاتيح أو الفأرة .

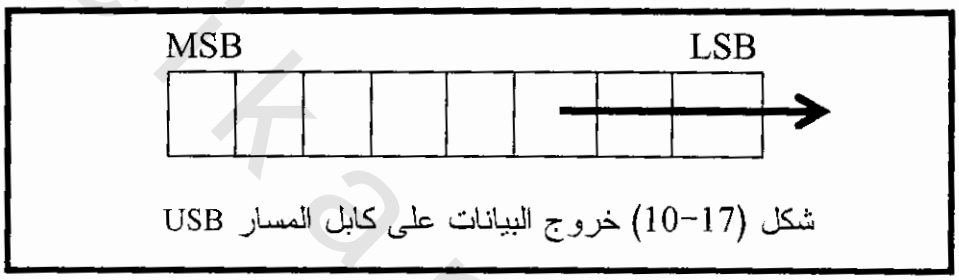
2- برمجيات العميل client software وهى البرمجيات الخاصة بتشغيل الجهاز الخارجي والتعامل معه ، فإن كان الجهاز الخارجي هو لوحة مفاتيح مثلا فإن هذه البرامج ستكون البرامج التى تشعر بضرب أى مفتاح فتقوم بقراءته وعرضه على الشاشة . هذه البرامج توجد على الحاسب المضيف وتكون فى الغالب مضافة على نظام التشغيل مثل برامج إدارة الطابعة أو لوحة المفاتيح وغيرها .

3- برمجيات إدارة المسار USB ، USB system software ، وهذه هى البرمجيات الخاصة بإدارة المسار نفسه مثل طريقة إرسال واستقبال البيانات وترقيم الأجهزة ووضع البيانات فى مجموعات packets . هذه البرامج تأتى مع نظام التشغيل ولا تعتمد على الجهاز الخارجي .

4- حاكم المسار USB ، USB bus controller ، وهو نقطة الاتصال الطبيعية أو الدوائر الخاصة بالنظام USB على الحاسب المضيف وعلى الجهاز الخارجى .

17-6 التراسل على المسار USB

تخرج البيانات من المرسل على الكابل فى صورة بتات بحيث تخرج البت ذات القيمة الصغرى LSB أولا ثم التى تليها إلى أن تصل إلى البت ذات القيمة العظمى MSB .شكل (17-10) يبين رسما تخطيطيا لعملية خروج البيانات على كابل التراسل .



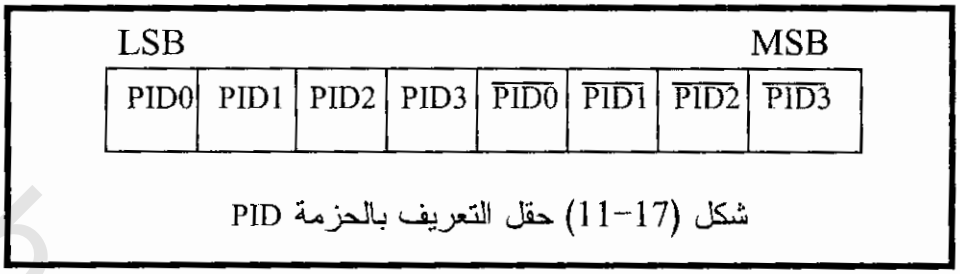
شكل (17-10) خروج البيانات على كابل المسار USB

قبل خروج البيانات من المرسل على الكابل يتم وضعها فى صورة حزم packets عن طريق برمجيات خاصة ، وكل حزمة تكون مقسمة إلى عدد من الحقول التى لكل منها وظيفة معينة يتعرف بها المستقبل على الكثير من المعلومات عن هذه الحزمة . هذه الحقول هى :

1- **حقل التوافق SYNC field** : أى حزمة تبدأ دائما بهذا الحقل . هذا الحقل يتكون من 8 بت فى السرعات المنخفضة والمتوسطة و 32 بت فى السرعات العالية . هذه البتات تحمل كود معين يستخدمه المستقبل فى ضبط توافق نبضات الساعة المولدة بداخله مع نبضات بتات الحزمة المرسلة . آخر 2 بت فى حقل التوافق تحدد نهاية هذا الحقل وبالتالى بداية الحقل التالى له مباشرة وهو الحقل PID . أى أن البداية الفعلية للحزمة Start Of Packet, SOP تكون موجودة ضمنيا فى حقل التوافق .

2- حقل التعريف بالحزمة Packet ID, PID : يأتى هذا الحقل بعد حقل التوافق مباشرة . هذا الحقل يتكون من 4 بتات تحدد نوع الحزمة ، يعقبها 4 تختبر صحة الأربعة السابقة وهى المعكوس الأحادى المنطقى لها . شكل (17-11) يبين بتات هذا الحقل . من ذلك نرى أنه يمكن تحديد واحد من 16

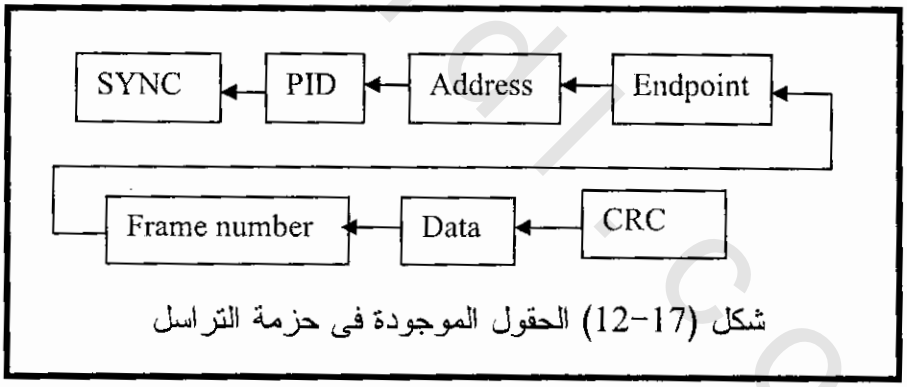
نوع من أنواع الحزم التى سيتم التعامل معها وذلك على حسب الشفرة الموجودة فى الأربع بتات الأولى من هذا الحقل .



شكل (17-11) حقل التعريف بالحزمة PID

3- **حقل العنوان Address field** : هذا الحقل يتكون من 7 بت ، لذلك فإنه يمكن عنونة 128 جهاز خارجى على حسب الشفرة الموجودة فى هذا الحقل. العنوان صفر تلقائيا لا يخصص لأى جهاز ولكنه يكون عنوان كل الأجهزة عند بداية التشغيل ثم بعد ذلك يتم تخصيص عنوان لكل جهاز .

4- **حقل الوصول النهائى Endpoint field** : هذا الحقل يتكون من 4 بت ، ويأتى بعد حقل العنوان ويستخدم لتعيين نقطة اتصال نهائية داخل جهاز معين مثل أحد مسجلاته إذا كان هذا الجهاز يحتوى بداخله على أكثر من مسجل يتم التعامل معها .



شكل (17-12) الحقول الموجودة فى حزمة التراسل

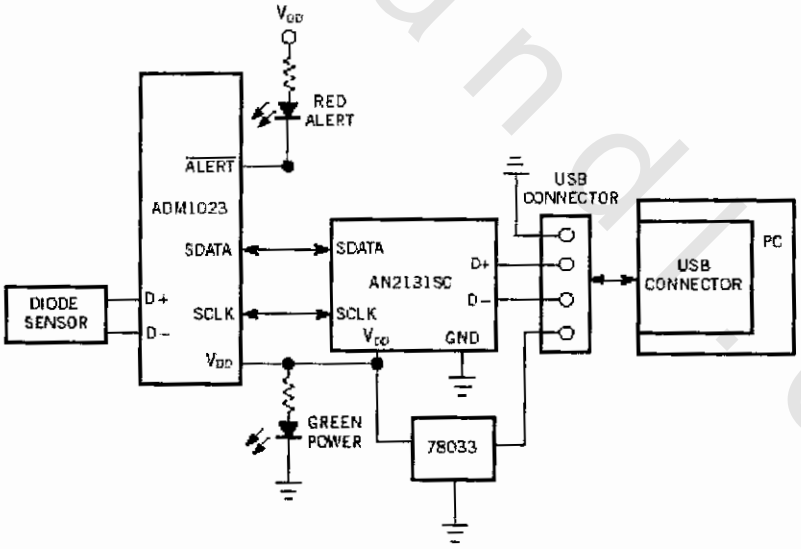
5- **حقل تحديد رقم الإطار Frame number field** : يتكون هذا الحقل من 11 بت تستخدم فى تحديد رقم الإطار . معنى ذلك أنه يمكن ترقيم حتى 2048 إطار على حسب الشفرة الموجودة فى هذا الحقل (من الإطار رقم صفر حتى الإطار رقم 2023) . إذا زاد عدد الإطارات عن 2048 يبدأ العد من الصفر مرة ثانية . هذا الحقل يرسل فى بداية كل إطار Start Of Frame,

SOF . الإطار يحتوى العديد من الحزم ، وهو وحدة زمنية ثابتة 1 ملليثانية فى حالة التراسل البطىء والمتوسط و 125 ميكروثانية فى حالة التراسل السريع .

6- حقل البيانات Data Field : يتكون هذا الحقل من عدد من البايتات الصحيحة التى تتراوح بين صفر و 1024 بايت تمثل البيانات المراد إرسالها . عدد البايتات فى هذا الحقل لابد أن يكون عددا صحيحا . شكل (17-12) يبين رسم تخطيطى للحقول الموجودة فى أى حزمة .

17-7 مشاريع للتقابل مع الحاسب من خلال المسار USB

سنقدم هنا مشروع بسيط لقراءة درجة الحرارة من خلال المسار USB . شكل (17-13) يبين الدائرة المستخدمة فى ذلك . فى هذا الشكل تقوم الشريحة ADM1023 بقراءة درجة الحرارة وترسلها إلى الحاكم الدقيق microcontroller الذى يقوم بعملية التخاطب مع الحاسب من خلال المسار USB وإرسال هذه الحرارة عند طلبها . الحاكم الدقيق هو AN2131 .



شكل (17-13) قراءة درجة الحرارة من خلال المسار USB

الشريحة ADM1023 رخيصة الثمن يمكنها قياس درجة الحرارة الخاصة بها أى الوسط الموجودة فيه ، كما يمكنها قياس درجة حارة وسط خارجى بعيدا عنها

وذلك بتوصيل دايود حرارى بين الطرفين +D و -D ووضع هذا الدايود فى الوسط المراد قياس درجة حرارته . يجب ألا يزيد طول السلك الموصل عليه هذا الدايود عن 30 متر على أن يكون سلك مجدول ومعزول twisted and shielded pair cable . أحد الدايودات الحرارية المناسبة لذلك هو الدايود 2N3906 . يمكن برمجة الشريحة ADM1023 لتعمل بين مستويين للحرارة بحيث إذا خرجت الحرارة خارج هذه الحدود يتم ضرب إنذار ويتم ذلك عن طريق توصيل دايود ضوئى أحمر على الطرف $\overline{ALERT}$ كما فى الشكل . الدايود الضوئى الأخضر عبارة عن مبين للقدرة . لاحظ أن كل من الشريحتين تعملان عند الجهد 3.3V وقد تم الحصول عليه باستخدام مثبت الجهد 78033 . الجهد الداخل لهذا المثبت تم أخذه من الطرف Vbus القادم من المسار USB والذى قيمته 5V . هذه الدائرة ستعمل تابع للحاسب المضيف ، بمعنى أن الحاسب عندما يريد قراءة درجة الحرارة فإنه سيرسل للدائرة ويقرأها . الشريحة AN2131 عبارة عن حاكم دقيق microcontroller يقوم بمهمة التخاطب مع الحاسب من خلال المخرج USB ، حيث كما رأينا لابد من تجهيز الإشارة فى صورة معينة مناسبة لهذا المسار وهذه المهمة لا يقوم بها إلا أحد الحاكمات الدقيقة المخصصة لذلك . يوجد فى الأسواق العديد من هذه الشرائح المؤهلة للتعامل مع هذا المسار والتى يمكن برمجتها لذلك . من أمثلة هذه الشرائح ما يلى:

- CY7C63411 حاكم دقيق للمسار USB المنخفض السرعة (4 كيلو EPROM ، 8 خطوط إدخال/إخراج ، 3 نهايات) .
- CY7C64601-52 حاكم دقيق للمسار USB العالى السرعة (4 كيلو RAM ، 16 خط إدخال/إخراج ، مسار بيانات 8 بت) .
- AN2131SC حاكم دقيق للمسار USB العالى السرعة (8 كيلو RAM ، 16 خط إدخال/إخراج) .
- AN2131QC حاكم دقيق للمسار USB العالى السرعة (8 كيلو RAM ، 24 خط إدخال/إخراج ، مسار بيانات 8 بت ، مخرج لزيادة الذاكرة)