الفصل الأول

مقدمة

(١,١)تعريف الإشارات والأنظمة

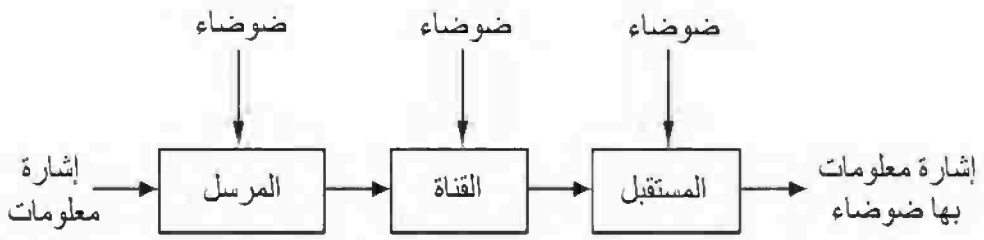
تتغير أي ظاهرة طبيعية زمنياً ويمكنها أن تعطي معلومات تعتبر إشارة. من أمثلة الإشارات الصوت البشري، ولغة الإشارة، وأكواد أو شفرات موريس، وإشارات المرور، والجهد على أسلاك التليفون، والمجال الكهربي المنبعث من مرسلات الراديو أو التليفزيون، والتغير في شدة الضوء في شعيرة ضوئية في شبكة التليفونات أو الحاسبات. والضوضاء تشبه الإشارة في أنها ظاهرة طبيعية تتغير زمنياً، ولكنها عادة لا تحمل معلومات مفيدة وتعتبر غير مرغوب فيها.

الإشارات يتم العمل عليها بواسطة الأنظمة. عند تطبيق واحد، أو أكثر من الإثارات، أو إشارات الدخول على واحد أو أكثر من مداخل النظام، فإن النظام ينتج واحداً، أو أكثر من الاستجابات، أو إشارات الخرج عند مخارج النظام. يبين شكل (١,١) مخطوطاً صندوقياً لنظام وحيد الدخل وحيد الخرج.

شكل رقم (١,١) مخطط صندوقي لنظام وحيد الدخل وحيد الخرج

يقوم المرسل في أي نظام للاتصالات بإنتاج إشارة، ويحاول المستقبل، والتقاطها القناة هي المسار الذي تأخذه الإشارة من المرسل حتى المستقبل. حتماً يكون هناك ضوضاء تتم إضافتها على المرسل، أو على القناة والمستقبل،

ويكون ذلك عند العديد من النقاط، كما في شكل (١,٢) المرسل، والقناة، والمستقبل، كلها عبارة عن مكونات للأنظمة الجانبية في النظام الكلي، أو العام. الأجهزة العلمية هي أنظمة تقيس أي ظاهرة طبيعية (الحرارة، والضغط، والسرعة، وإلخ) وتقوم بتحويلها إلى جهد، أو تيار، أو إشارة. أنظمة التحكم في الأبنية التجارية كما في شكل (١,٣)، وأنظمة التحكم في المصانع كما في شكل (١,٤)، وماكينات المزارع الحديثة كما في شكل (١,٥)، ونظام الملاحة في الطائرات، والتحكم في الإشعال وضخ الوقود في السيارات، وهكذا، كلها أنظمة تعمل على الإشارات.



شكل رقم (١,٢) نظام اتصالات

شكل رقم (١,٣) مبانٍ إدارية حديثة

شكل رقم (١,٤) حجرة تحكم نموذجية في أحد المصانع

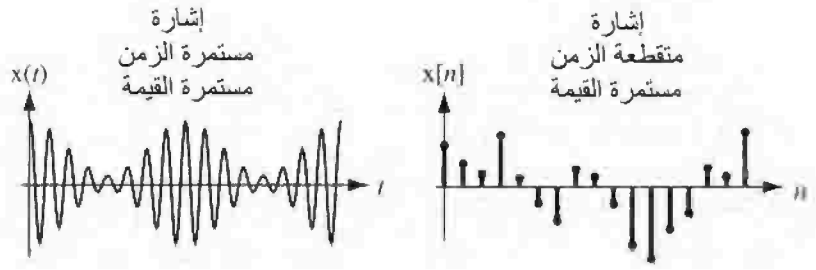
شكل رقم (١,٥) جرار مزرعة حديثة بشاحنة مغلقة

إن مصطلح النظام يشتمل على أشياء مثل سوق الأوراق المالية، والحكومة، والطقس، والجسم البشري وما شابه ذلك، فكلها تستجيب عند إثارتها. بعض الأنظمة تم تحليلها بالتفصيل، والبعض يمكن تحليلها بالتقريب، ولكن البعض يكون على درجة من التعقيد أو يكون صعب القياس بحيث أننا بصعوبة نعرف ما يكفي لفهمها.

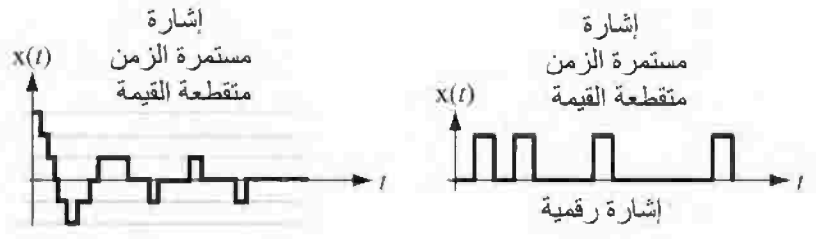
(١,٢)أنواع الإشارات

هناك العديد من الأنواع العريضة من الإشارات: الزمن المستمر، والزمن المتقطع، والقيمة المستمرة، والقيمة المتقطعة، والعشوائية، وغير العشوائية. إشارة الزمن المستمر تكون محددة عند كل لحظة في الزمن وفي خلال فترة زمنية معينة. اسم آخر شائع لبعض إشارات الزمن المستمر هو الإشارة التماثلية، و تكون فيه تغيرات الإشارة مع الزمن مناظرة (متناسبة) لأحد الظواهر الطبيعية. كل الإشارات التماثلية تكون إشارات مستمرة الزمن ولكن ليس كل إشارات الزمن المستمر تكون إشارات تماثلية كما في الأشكال من شكل (١,٦) حتى شكل (١,٨).

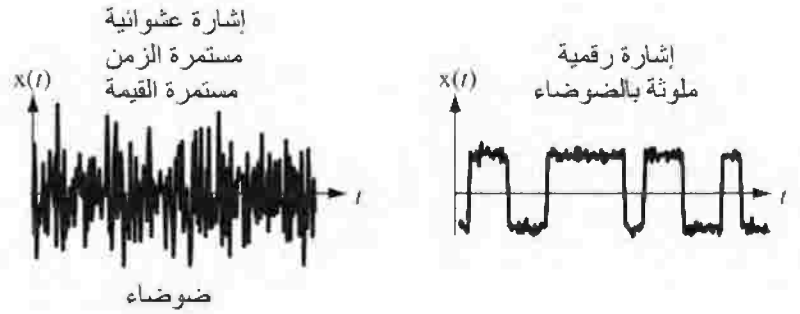
أخذ عينات من أي إشارة هو اكتساب قيم من إشارة الزمن المستمر عند نقاط، أو لحظات متقطعة من الزمن. مجموعة العينات هذه تكون إشارة الزمن المتقطع. أي إشارة متقطعة الزمن يمكن الحصول عليها أيضاً عن طريق نظام متقطع بطبيعته ينتج قيم الإشارات عند أزمنة متقطعة كما في شكل (١,٦).



شكل رقم (١,٦) أمثلة على إشارات الزمن المستمر والزمن المتقطع



شكل رقم (١,٧) أمثلة على إشارات الزمن المستمر والقيمة المتقطعة



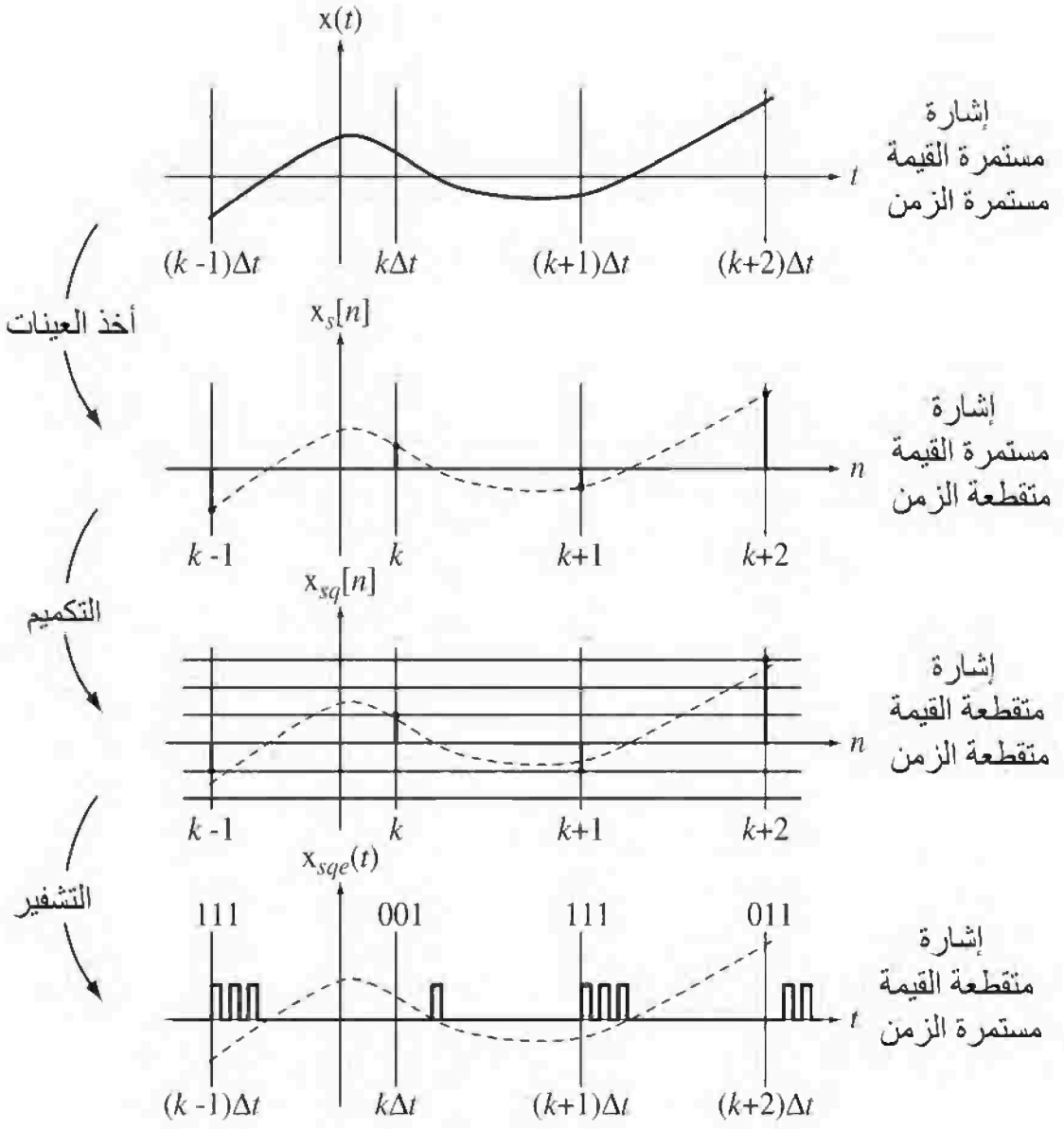
شكل رقم (١,٨) أمثلة على الضوضاء، وإشارة رقمية ملوثة بالضوضاء

الدالة المستمرة القيمة هي الدالة التي يمكن أن تأخذ أي قيمة خلال مدى معين مستمر أو متواصل من القيم. في هذا المدى المتواصل من القيم يمكن لأي قيمتين أن يكونا متقاربتين بأي درجة. الأرقام الحقيقية تشكل تواصلاً بامتداد لا نهائي. الأرقام الحقيقية بين الصفر والواحد تشكل تواصلاً بامتداد محدود. كل واحد منهما يكون مجموعة من عدد لا نهائي من الأرقام كما في شكل(١,٦) حتى شكل (١,٨).

الإشارة متقطعة القيمة يمكنها أن تأخذ قيماً من مجموعة محددة أو مقطعة فقط من القيم. في مجموعة من القيم المتقطعة يكون مقدار الفرق بين أي قيمتين متتاليتين أكبر من رقم موجب معين، ومجموعة الأرقام الصحيحة تعتبر مثالاً على ذلك. الإشارات متقطعة الزمن يتم إرسالها في العادة كإشارات رقمية، وهي تتابع من قيم الإشارة متقطعة الزمن في صورة أرقام مشفرة بطريقة معينة. إن مصطلح أو كلمة رقمي يتم استخدامها أحياناً بطريقة فضفاضة لتشير إلى الإشارات المتقطعة القيم التي لها اثنان فقط من القيم الممكنة. الأرقام في هذا النوع من الإشارات الرقمية يتم إرسالها عن طريق إشارات مستمرة الزمن. في هذه الحالة، تكون مصطلحات الزمن المستمر والتماثلي ليست مترادفة. الإشارة الرقمية من هذا النوع تكون إشارة مستمرة الزمن، ولكنها ليست تماثلية؛ لأن قيمها تتغير مع الزمن بطريقة ليست مكافئة مباشرة للظواهر الطبيعية كما في شكل (١,٦) حتى شكل (١,٨). الإشارة العشوائية لا يمكن التنبؤ بها بدقة، ولا يمكن وصفها بأي دالة حسابية، بينما الإشارة القطعية، أو المحددة فيمكن وصفها حسابياً. الاسم الشائع للإشارة العشوائية هو الضوضاء كما في شكل (١,٦) حتى شكل (١,٨).

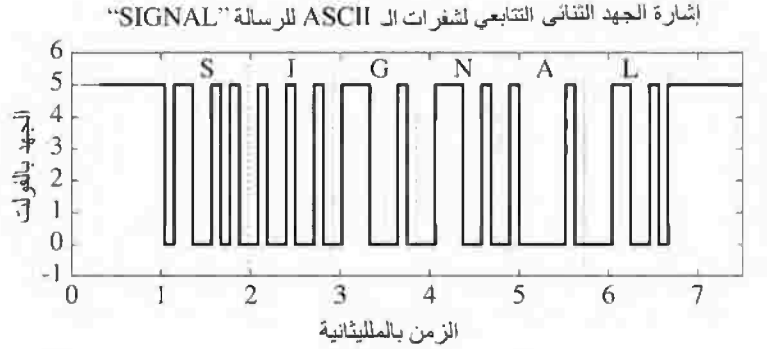
في المعالجة العملية للإشارات يكون من الشائع جداً اكتساب الإشارة للمعالجة بأخذ عينات منها عن طريق الحاسب، ثم تكميمها، ثم تشفيرها كما في شكل (١,٩) الإشارة الأصلية تكون مستمرة القيمة، مستمرة الزمن. في العينة يتم اكتساب قيم العينات عند أزمنة متقطعة وهذه القيم تشكل إشارة مستمرة القيم، متقطعة الزمن. عملية التكميم تقوم بتقريب قيمة كل عينة لأقرب عضو من مجموعة من القيم المتقطعة المحددة، منتجة إشارة متقطعة القيمة متقطعة الزمن. كل قيمة من قيم الإشارة في مجموعة القيم المحددة المتقطعة عند زمن محدد يتم تحويلها إلى تتابع

من النبضات المربعة التي تشفر هذه القيمة في صورة رقم ثنائي ، منتجاً إشارة متقطعة القيمة مستمرة الزمن ، تسمى في العادة الإشارة الرقمية. هذه الخطوات الموضحة في شكل (١.٩) يتم في العادة تنفيذها عن طريق أداة ، أو جهاز يسمى المحول التماثلي الرقمي analog to digital converter, ADC.

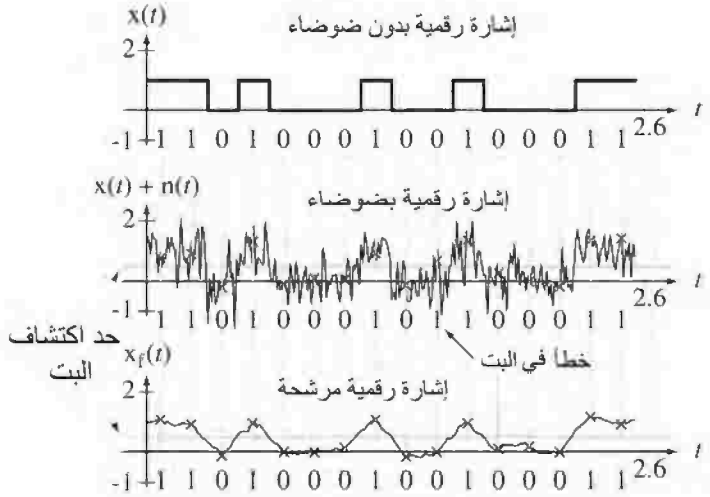


شكل رقم (١,٩) أخذ العينات، والتكميم، والتشفير لإشارة لتوضيح الأنواع المختلفة من الإشارة

استخدام شائع للإشارات الثنائية هو لإرسال الرسائل النصية باستخدام الكود الأمريكي القياسي لتبادل المعلومات ASCII. يتم تشفير الحروف الهجائية، والأرقام من صفر حتى تسعة، وأحرف التشكيل والعديد من أحرف التحكم غير المكتوبة، والتي مجموعها 128 حرفاً، كلها في تتابع من سبعة بتات ثنائية. يتم إرسال السبعة بتات بالتتابع، مسبوقة ببت للبداية متبوعة ببت واحدة، أو اثنين للتوقف وذلك بغرض تحقيق التزامن. نموذجياً، في التوصيلات السلكية المباشرة بين الأجهزة الرقمية، يتم تمثيل هذه البتات بجهود عالية (من 2 حتى 5 فولت) بالنسبة للواحد الرقمي، وجهود منخفضة (حوالي صفر) للصفر الرقمي. في التراسل غير المتزامن باستخدام بت بداية واحدة وبت واحدة للتوقف، أو النهاية، فإن إشارة الرسالة، كفولت مع الزمن يمكن أن تكون كما هو مبين في شكل (١,١٠).



شكل رقم (١,١٠) إشارة الجهد لتتابع ثنائي غير متزامن بشفرات ASCII للكلمةSIGNAL



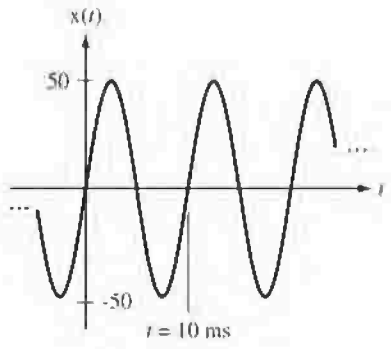
شكل رقم (١,١١) استخدام مرشح لتقليل معدل الخطأ في البتات في الإشارة الرقمية

الإشارات الرقمية تكون مهمة في تحليل الإشارات نتيجة انتشار الأنظمة الرقمية. تكون الإشارات عموما الرقمية محصنة أفضل ضد الضوضاء عن الإشارات التماثلية. في اتصالات الإشارات الرقمية يمكن الكشف عن البتات بنقاء عالٍ حتى في وجود الضوضاء الكبيرة. في العادة يتم الكشف عن قيم البتات في سيل متدفق من البتات عن طريق مقارنة قيمة الإشارة عند زمن محدد مسبقاً لهذه البت مع حد فاصل معين. إذا كانت قيمة الإشارة أعلى من الحد الفاصل فإنه يتم اعتبارها واحداً رقمياً1 ، وإذا كانت تحت الحد الفاصل فإنه يتم اعتبارها صفراً رقمياً 0 في شكل (١,١١)، الإكسات x's تحدد قيمة الإشارة عند زمن الكشف، وعند تطبيق هذه الطريقة على الإشارات الرقمية الملوثة بالضوضاء، فإن واحدة من البتات تم اكتشافها خطأ. ولكن عند معالجة الإشارة عن طريق مرشح، فإن كل البتات يتم الكشف عنها بدون خطأ. الإشارة الرقمية المرشحة لا تبدو نظيفة أو خالية من الضوضاء بالمقارنة مع الإشارة الرقمية الخالية أصلا من الضوضاء، ولكن البتات ما زالت يمكن الكشف عنها باحتمالية خطأ منخفضة جداً. وهذا هو السبب الأساسي في أن الإشارات الرقمية يكون لها حصانة أفضل ضد الضوضاء عن الإشارات التماثلية. مقدمة عن تحليل وتصميم المرشحات تم تقديمها في الفصول ١١ و ١٥.

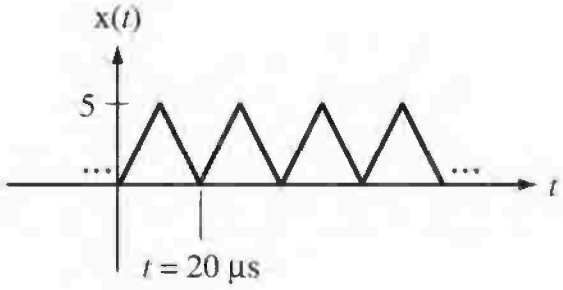
سنعتبر كلاً من الإشارات المستمرة الزمن والمتقطعة الزمن، ولكننا (في الغالب) سنهمل تأثيرات تكميم الإشارة وسنعتبر أن كل الإشارات ستكون مستمرة القيمة. أيضا، فإننا لن نعتبر تحليل الإشارات العشوائية مباشرة، على الرغم من أن الإشارات العشوائية سيتم استخدامها أحيانا في التوضيح.

الإشارات الأولى التي سندرسها هي إشارات مستمرة الزمن. يمكن وصف بعض الإشارات المستمرة في الزمن عن طريق دوال مستمرة زمنياً، فمثلاً يمكن وصف الإشارة x(t) بالدالة $x(t)=50\sin(200\pi t)$في الزمن المستمر t، وهذا يعتبر وصفاً دقيقاً للإشارة عند كل لحظة في الزمن. يمكن أيضاً وصف الإشارة بيانياً كما في شكل (١,١٢).

هناك العديد من الإشارات المستمرة زمنياً التي ليس من السهل وصفها حسابياً مثل: الإشارة الموضحة في شكل (١,١٣). الأشكال الموجية كالموضحة في شكل (١,١٣) تحدث في العديد من الأجهزة وأنظمة الاتصالات. باستخدام التحديد لبعض دوال الإشارات وعملية تسمى الالتفاف convolution يمكن وصف هذه الإشارة بصورة مدمجة، وتحليلها والتعامل معها حسابياً. الإشارات المستمرة زمنياً التي يمكن وصفها بدوال حسابية يمكن تحويلها إلى نطاق آخر يسمي النطاق الترددي من خلال تحويل فورير في الزمن المستمر. التحويل في هذا السياق يعني تحويل الإشارة إلى النطاق الترددي، وهذا يعتبر أداة مهمة في تحليل الإشارات، تسمح بأن تكون خواص، أو مميزات معينة للإشارات أكثر وضوحاً وأكثر سهولة للتعامل معها عن حالتها في التطاق الزمني. (في النطاق الترددي، يتم وصف الإشارات بما تحتويه من ترددات). بدون التحليل في النطاق الترددي، فإن تحليل وتصميم العديد من الأنظمة من الممكن أن يكون أكثر صعوبة.

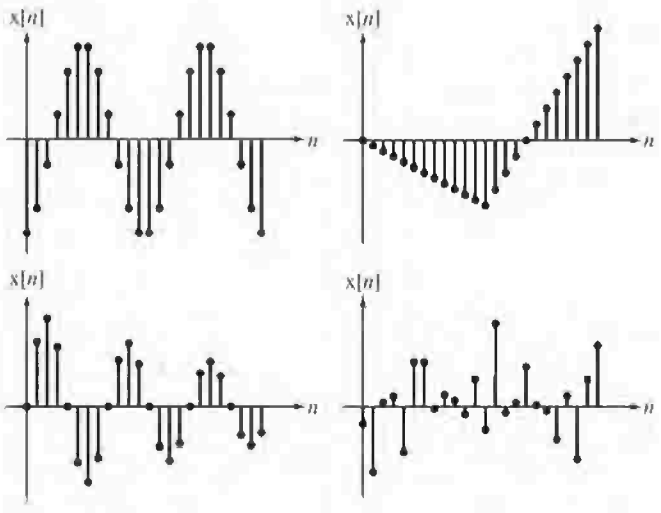


شكل رقم (١,١٢) إشارة مستمرة زمنياً موصوفة بدالة حسابية



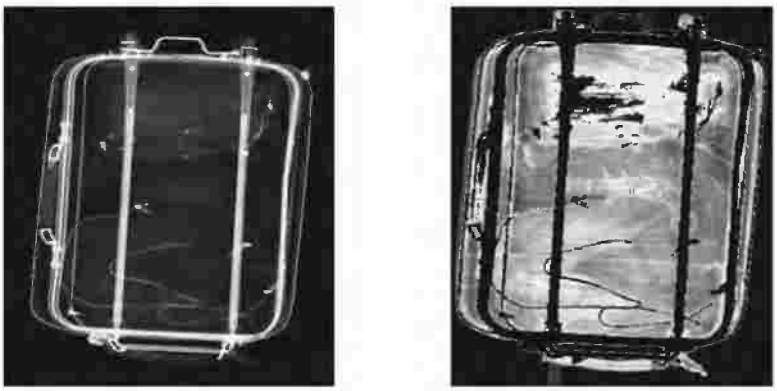
شكل رقم (١,١٣) إشارة ثانية مستمرة زمنياً

الإشارات المقطعة زمنياً يتم تحديدها عند نقاط متقطعة في الزمن. ويبين شكل (١,١٤) بعض الإشارات المقطعة زمنياً.



شكل رقم (١,١٤) بعض الإشارات المقطعة زمنياً

كل الإشارات التي تم فرضها حتى الآن تم وصفها عن طريق دوال حسابية. هناك فصيل مهم من الإشارات وهو الإشارات التي تكون دوال في الفراغ بدلاً من الزمن مثل الصور. تعتمد معظم نظريات الإشارات، والمعلومات التي تحتويها، وكيفية معالجتها عن طريق الأنظمة في هذا الكتاب على الإشارات التي تمثل تغيرات في ظواهر طبيعية مع الزمن. ولكن هذه النظريات والطرق يمكن تطبيقها أيضاً، بعد تعديلات بسيطة، في معالجة الصور. يتم وصف الإشارات الزمنية عن طريق تغيرات في الظواهر الطبيعية كدالة في متغير مستقل واحد وهو الزمن. الإشارات المساحية، أو الصور، يتم وصفها عن طريق تغيرات في الظواهر الطبيعية كدالة في اثنين من المتغيرات المساحية المستقلة المتعامدة، يتم الإشارة إليها عادة بالمتغيرين x و y. الظواهر الطبيعية الأكثر شيوعاً هي الضوء، أو أي شيء يؤثر على نقل أو انعكاس الضوء، ولكن طرق معالجة الصور يمكن تطبيقها أيضاً على أي شيء يمكن وصفه بدالة حسابية من متغيرين مستقلين.



شكل رقم (١,١٥) مثال على معالجة الصور من أجل الكشف عن أو استخلاص المعلومات

(صورة أصلية بأشعة إكس ونسخة معالجة منها تم عملها عن طريق مكتبة أنظمة التصوير، والروبوتات، والذكاء بقسم الكهرباء وهندسة الحاسب بجامعة تينيسي في كنوكسفيل).

تاريخيا، فإن تطبيقات طرق معالجة الصور قد تأخرت وظهرت بعد تطبيقات طرق معالجة الإشارات نتيجة أن كمية المعلومات التي يجب معالجتها لتجميع المعلومات من أي صورة تكون أكبر بكثير من كمية المعلومات المطلوب معالجتها لتجميع معلومات من الإشارات الزمنية، ولكن الآن أصبحت تقنيات معالجة الصور وسيلة عملية في العديد من المواقف حيث تتم هذه المعالجة عن طريق الحاسب. بعض عمليات معالجة الصور البسيطة يمكن إجراؤها مباشرة عن طريق الطرق الضوئية، وهذه بالطبع يتم تنفيذها بسرعات عالية (بسرعة الضوء!). ولكن مثل هذه الطرق الضوئية المباشرة تكون محدودة جداً في مرونتها بالمقارنة بطرق المعالجة الرقمية على الحاسبات.

شكل(١,١٥) يبين صورتين، على اليسار صورة بأشعة إكس غير معالجة لحقيبة تمر عند نقطة اختبار في أحد المطارات. توجد على اليمين الصورة نفسها بعد معالجتها عن طريق بعض عمليات الترشيح على الصورة للكشف عن وجود أسلحة. هذا الكتاب لن يتطرق لمعالجة الصور بأي عمق ولكن سيتم استخدام بعض الأمثلة على معالجة الصور لتوضيح بعض مفاهيم معالجة الإشارة.

إن فهم كيفية حمل الإشارات للمعلومات وكيف أن الأنظمة تعالج هذه الإشارات يعتبر أساسا للعديد من المجالات الهندسية. طرق تحليل الإشارات التي تتم معالجتها عن طريق الأنظمة تكون موضوعات هذا الكتاب. يمكن اعتبار هذه الموضوعات ككتاب في الرياضيات التطبيقية أكثر منها موضوعات تغطي بناء بعض الأجهزة المفيدة، ولذلك فإن فهم هذه الموضوعات يكون في غاية الأهمية للتصميم الناجح لهذه الأجهزة المفيدة. الموضوعات التالية تعرض البناء من التعريفات والمفاهيم الأساسية حتى المدى الكامل لطرق التحليل في الأزمنة المستمرة والمقطعة لهذه الإشارات في الأنظمة.

(١,٣) أمثلة على الأنظمة

هناك العديد من الأنواع المختلفة للإشارات والأنظمة، وفيما يلي سنشرح بعض الأمثلة القليلة عن الأنظمة. سيكون الشرح هنا محدوداً على الموضوعات الوصفية للأنظمة مع بعض التوضيحات لسلوك هذه الأنظمة تحت بعض الظروف المعينة. وسنعود مرة أخرى لهذه الأنظمة في الفصل ٤ ونشرح بطريقة أكثر تفصيلاً موضوعات نمذجة الأنظمة.

النظام الميكانيكي

رجل يقفز بالحبل من على جسر على أحد الأنهار، هل سيبتل أم لا؟ إن الإجابة تعتمد على العديد من العوامل التي منها :

١- طول الرجل ووزنه.

٢- إرتفاع الجسر فوق الماء.

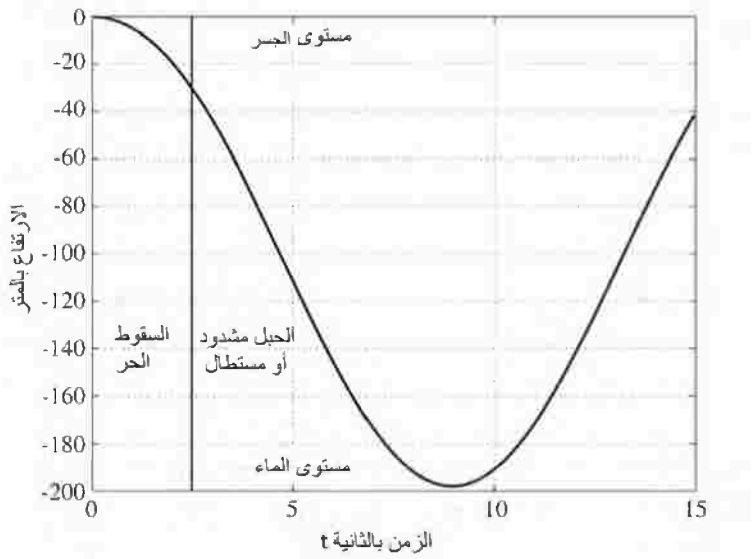
٣- طول ومرونة حبل القفز.

عندما يقفز الرجل من على الجسر فإنه يسقط سقوطا حراً حتى يمتد حبل القفز إلى أقصى طول له بحيث لا يمكن أن يمتد، أو يستطيل بعده. بعد ذلك تتغير ديناميكية النظام نتيجة وجود قوة أخرى تؤثر على الرجل، وهي مقاومة حبل القفز للاستطالة، وأنه لم يعد الآن في حالة السقوط الحر. يمكننا أن نكتب ونحل معادلة تفاضلية للحركة ونحدد إلى أي مدى سيسقط الرجل إلى أسفل قبل أن يجذبه الحبل مرة أخرى إلى أعلى. المعادلة التفاضلية

للحركة تعتبر نموذجاً رياضياً لهذا النظام الميكانيكي. إذا كان وزن الرجل 80 كيلو جراماً وطوله1 .8 متر، وإذا كان الجسر يبعد 200 متر فوق سطح الماء وطول حبل القفز (غير المستطيل أو المشدود) 30 متر وثابت الزنبرك هو 11 نيوتين/المتر، فإن حبل القفز سيصل لأقصى استطالة له عند t=2. 47s. معادلة الحركة بعد أن يبدأ الحبل في الاستطالة ستكون :

$$x(t) = -16.85\sin(0.3708t) - 95.25\cos(0.3708t) + 101.3, \quad t > 2.47$$ المعادلة رقم (١.١)

يبين شكل (١.١٦) حركة هذا الرجل، أو النظام مع الزمن خلال أول 15 ثانية. من هذا الرسم يبدو أن الرجل سيكون قريباً من البلل بالماء ولكنه لن يبتل.



شكل رقم (١,١٦) الموضع الرأسي للرجل مع الزمن (مستوى الجسر هو الصفر)

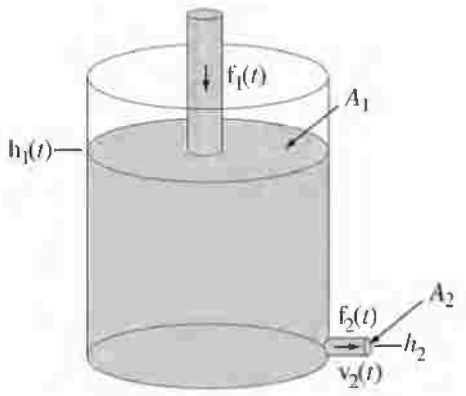
نظام مائع أو سائل

يمكن أيضا نمذجة نظام مائع بمعادلة تفاضلية. افترض وجود خزان اسطواني للماء تتم تغذيته من خلال تدفق للماء الداخل، مع فتحة في أسفل الخزان لتخريج الماء كما في شكل (١.١٧).

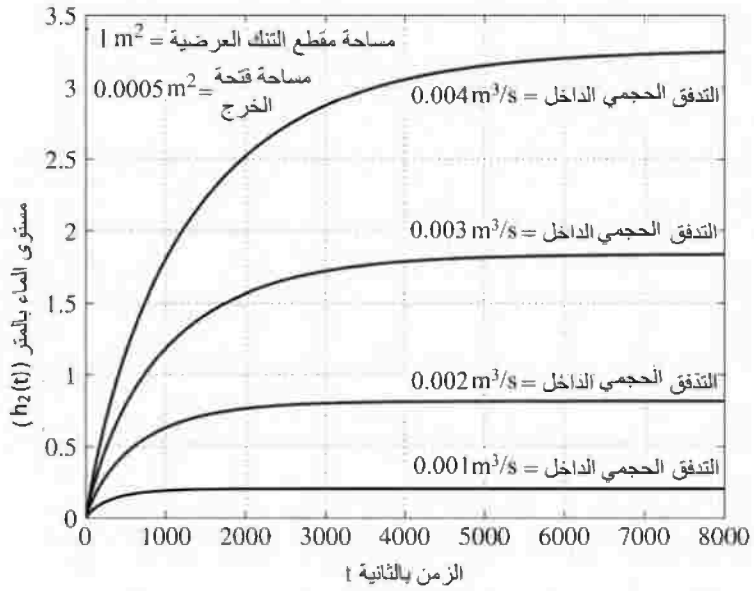
التدفق الخارج من الفتحة السفلى يعتمد على ارتفاع الماء في الخزان. تغير ارتفاع الماء في الخزان يعتمد على التدفق الداخل للماء والتدفق الخارج من الخزان. معدل تغير حجم الماء في الخزان هو الفرق بين حجم التدفق الداخل وحجم التدفق الخارج، وحجم الماء في الخزان يساوي مساحة مقطع الخزان في ارتفاع الماء فيه. يمكن تجميع كل هذه المعاملات في معادلة تفاضلية واحدة لمستوى الماء h1(t) كما يلي :

$$A_1 \frac{d}{dt}(h_1(t)) + A_2\sqrt{2g[h_1(t) - h_2]} = f_1(t)$$ المعادلة رقم (١,٢)

مستوى الماء في الخزان تم رسمه في شكل (١,١٨) مع الزمن لأربعة أحجام تدفق مع افتراض أن الخزان كان في البداية فارغاً.



شكل رقم (١,١٧) خزان للماء بفتحة من أسفل ويتم ملؤه من أعلى



شكل رقم (١,١٨) مستوى الماء في الخزان لأربعة تدفقات مختلفة للماء الداخل مع فرض أن الخزان فارغ في البداية

مع تدفق الماء الداخل، يرتفع مستوى الماء في الخزان، وهذا يزيد من تدفق الماء الخارج. مستوى الماء في الخزان يرتفع حتى يصبح التدفق الخارج يساوي التدفق الداخل، وعند هذا الوقت يظل مستوى الماء ثابتاً. لاحظ أنه عندما يزداد التدفق الداخل بمقدار الضعف، فإن المستوى النهائي للماء يزداد أربع مرات. أي أن مستوى الماء في

الخزان يتناسب مع مربع التدفق الحجمي الداخل. هذه العلاقة تكون نتيجة حقيقة أن المعادلة التفاضلية تكون غير خطية.

نظام متقطع زمنياً

يمكن تصميم الأزمنة المتقطعة زمنياً بأكثر من طريقة. المثال العملي الأكثر شيوعاً على الأنظمة المقطعة زمنياً هو الحاسب. يتم التحكم في الحاسب عن طريق نبضات ساعة تحدد التوقيت لكل العمليات. العديد من الأشياء تحدث داخل الحاسب على مستوى الدوائر التكاملية بين نبضات الساعة ، ولكن ما يهم المستخدم هو ما يحدث عند لحظات حدوث نبضات الساعة.

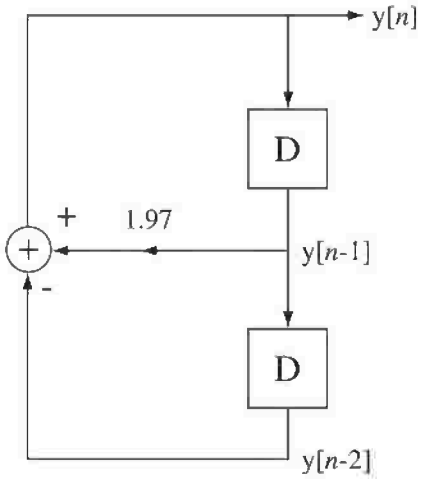
يمكننا أن نحاكي تأثير نظام متقطع زمنياً عن طريق برنامج على الحاسب كالتالي :

```
yn=1;  yn1=0;
while 1,
yn2=yn1;    yn1=yn;    yn=1. 97*yn1-yn2;
end
```

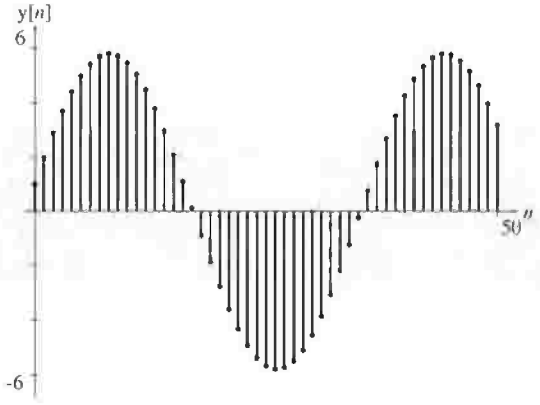
هذا البرنامج (المكتوب للحاسب بلغة ماتلاب) يحاكي نظاماً متقطعاً زمنياً مع إشارة الخرج yالتي تم وصفها بالمعادلة الفرقية التالية :

$$y[n] = 1.97y[n-1] - y[n-2]$$ المعادلة رقم (١,٣)

مع اعتبار القيم الابتدائية y[0]=1 و y[-1]=0. قيمة y عند أي فهرس أو قيمة زمنية محددة n تساوي مجموع القيم السابقة لل y عند الزمن n-1 مضروبة بالقيمة 1. 97 ، مطروحاً منها قيمة y السابقة لهذه القيمة عند الزمن n-2. يمكن رسم عمل هذا النظام كما هو موضح في شكل (١- ١٩).



شكل رقم (١,١٩) مثال على نظام متقطع زمنياً



شكل رقم (١,٢٠) الإشارة الناتجة من النظام المتقطع زمنياً في شكل رقم (١,١٩)

في شكل (١- ١٩) المربعان المحتويان على الحرف D يمثلان تأخيراً لوحدة زمن، والسهم المجاور للرقم 1.97 هو مكبر يضرب الإشارة الداخلة بالثابت 1.97 منتجاً الإشارة الخارجة. الدائرة وإشارة الجمع بداخلها تمثل نقطة تجميع، حيث تجمع الإشارتين الداخلتين لها (واحدة منهما تم عكسها أولا) لتعطي الإشارة الخارجة منها. الخمسون قيمة الأولى من الإشارة الناتجة من هذا النظام تم توضيحها في شكل (١- ٢٠).

النظام الموجود في شكل (١- ١٩) يمكن بناؤه باستخدام مكونات بنائية محددة. التأخير في الزمن المتقطع يمكن تنفيذه باستخدام مسجل إزاحة. الضرب في القيمة الثابتة يمكن عمله باستخدام مكبر أو باستخدام دائرة ضرب رقمي. يمكن عمل الجمع أيضاً باستخدام مكبر عمليات، أو باستخدام مجمع رقمي.

أنظمة التغذية العكسية

جانب آخر من الجوانب المهمة في الأنظمة هو استخدام التغذية العكسية لتحسين أداء هذه الأنظمة. في أنظمة التغذية العكسية، يوجد شيء يقوم بملاحظة خرج النظام ومن الممكن تغيير إشارة دخل النظام لتحسين هذه الاستجابة. من الأمثلة الشهيرة على ذلك منظم الحرارة، أو الثرموستات في المنزل الذي يتحكم في متى يفتح، أو يغلق مكيف الهواء. الثرموستات به حساس للحرارة، عندما ترتفع درجة الحرارة داخل الثرموستات عن المستوى الموضوع عن طريق صاحب المنزل، يغلق مفتاح داخل الثرموستات ويشغل مكيف الهواء. عندما تنخفض درجة الحرارة داخل الثرموستات تحت المستوى الموضوع عن طريق صاحب المنزل بكمية قليلة، فإن المفتاح يفتح مغلقاً مكيف الهواء. جزء من النظام (حساس الحرارة) يقوم بحس الشيء الذي يقوم النظام بمحاولة التحكم فيه (درجة الحرارة) ويقوم بتغذية الإشارة مرة أخرى إلى الجهاز الذي يقوم فعلاً بعملية التحكم (مكيف الهواء). في هذا المثال، إشارة التغذية العكسية، هي ببساطة غلق، أو فتح المفتاح.

التغذية العكسية تعتبر مفهوماً مهماً ومفيداً، وأنظمة التغذية العكسية توجد في كل مكان. لننظر إلى أحد الأشياء التي يعرفها كل واحد وهي، الصمام العائم في صندوق طرد المرحاض (التواليت). إنه يحس مستوى الماء في الصندوق، وعندما يصل مستوى الماء إلى المستوى المطلوب، فإنه يوقف تدفق الماء في الصندوق. الكرة العائمة هي الحساس والصمام الموصلة عليه هو آلية التغذية العكسية التي تتحكم في مستوى الماء.

إذا كانت كل الصمامات في صناديق طرد المراحيض من النوع نفسه ولا يتم تغيرها مع الزمن، وإذا كان ضغط الماء الداخل إلى الصمام معروفاً وثابتاً، وإذا كانت هذه الصمامات تستخدم في كل صناديق الماء، فإنه من الممكن استبدال صمامات العوامات باستخدام مؤقت يقوم يغلق تدفق الماء عندما يصل الماء إلى المستوى المطلوب، حيث إن الماء سيصل إلى المستوى المطلوب عند الزمن نفسه. ولكن صمامات الماء تتغير مع الزمن وضغط الماء يتغير، كما أن المراحيض المختلفة يكون بها صناديق مختلفة الحجم والشكل. لذلك، فإنه لكي يتم العمل بكفاءة تحت هذه الظروف المتغيرة، فإن نظام تعبئة الصندوق يجب ضبطه عن طريق حس مستوى الماء وغلق الصمام عندما يصل الماء إلى المستوى المطلوب. إن القابلية للضبط مع الظروف المتغيرة هي من المميزات العظيمة لطرق التغذية العكسية.

هناك العديد من الأمثلة التي لا حصر لها على استخدام التغذية العكسية :

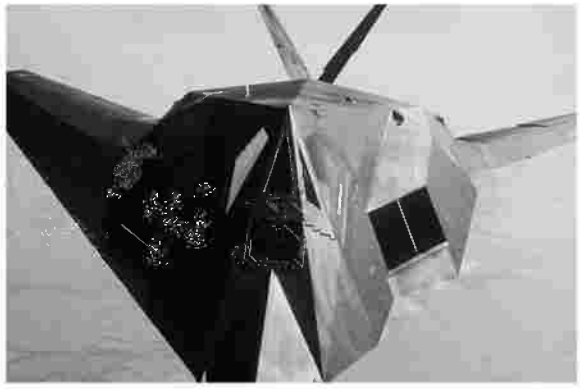
١- عملية الصب في كأس الليمون تحتوي على التغذية العكسية. إن الشخص الذي يقوم بعملية الصب يلاحظ مستوى اليمونادة في الكأس ويوقف عملية الصب عندما يصل إلى المستوى المطلوب.

٢- يقوم الأساتذة بعمل اختبارات للطلاب لتبليغهم بمستوى أدائهم. إن هذا يعتبر تغذية عكسية لتمكين الطلاب من معرفة جودة أدائهم في المقرر بحيث يستطيع الطالب أن يضبط طريقته، أو عاداته في المذاكرة، لكي يصل إلى التقدير المطلوب. إنه أيضاً تغذية عكسية تتيح للأستاذ أن يعرف كيفية أداء الطلاب وتعلمهم.

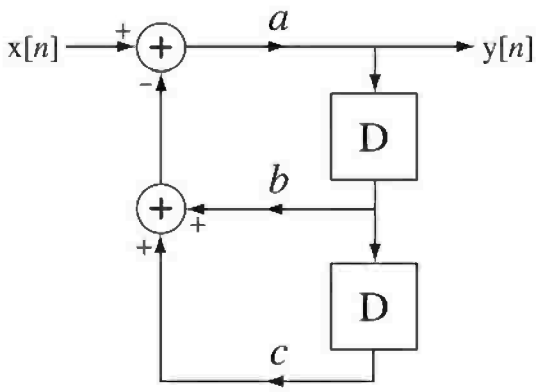
٣- عملية قيادة السيارة تشتمل على تغذية عكسية. إن السائق يحس بالسرعة واتجاه السيارة، والاقتراب من السيارات الأخرى، وعلامات الحارة التي يسير فيها على الطريق، ويطبق باستمرار الأفعال المصححة عن طريق دواسة السرعة، والفرامل، وعجلة القيادة للحفاظ على سرعة وموضع آمنين.

٤- بدون التغذية العكسية، من الممكن للطائرة المحاربة F-117 أن تتحطم نتيجة عدم الثبات في الديناميكية الهوائية. الحاسبات المتوافرة تحس بالسرعة، والارتفاع، والالتفاف، والرماية والانحراف للطائرة وتضبط باستمرار الأسطح للحفاظ على المسار المطلوب للطائرة كما في شكل (١.٢١).

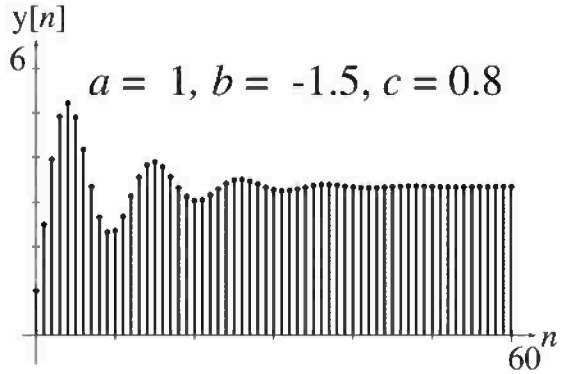
يتم استخدام التغذية العكسية في أنظمة الزمن المستمر وأنظمة الزمن المتقطع. النظام في شكل (١.٢٢) يمثل نظام تغذية عكسية في الزمن المتقطع. استجابة النظام y[n] تمثل "التغذية العكسية" إلى وصلة التجميع العليا بعد تأخيرها مرتين وضربها في بعض الثوابت.



شكل رقم (١,٢١) طائرة التسلل المحاربة F-117



شكل رقم (١,٢٢) نظام تغذية عكسية في الزمن المتقطع



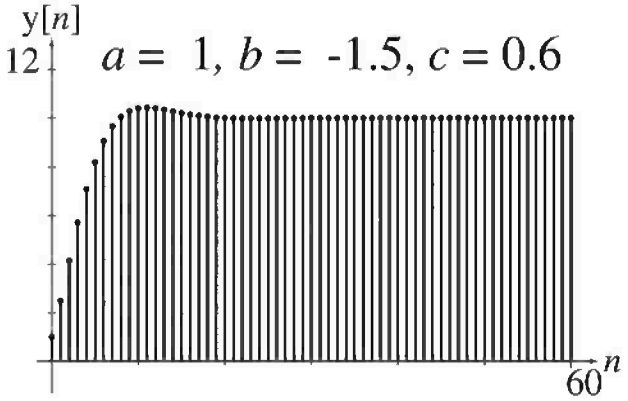
شكل رقم (١,٢٣) استجابة نظام في الزمن المتقطع مع b=-1. 5 و c=0. 8

افترض أن هذا النظام مستقر في البداية، مما يعني أن كل الإشارات خلال النظام تكون صفراً قبل اللحظة الزمنية n=0. لتوضيح تأثير التغذية العكسية نفترض أن b=-1. 5، و c=0. 8 ونفترض أن إشارة الدخل x[n] تتغير من 0 حتى 1 وتظل عند القيمة 1 مع كل الأزمنة n≥0. شكل (١,٢٣) يوضح الاستجابة y[n] للنظام.

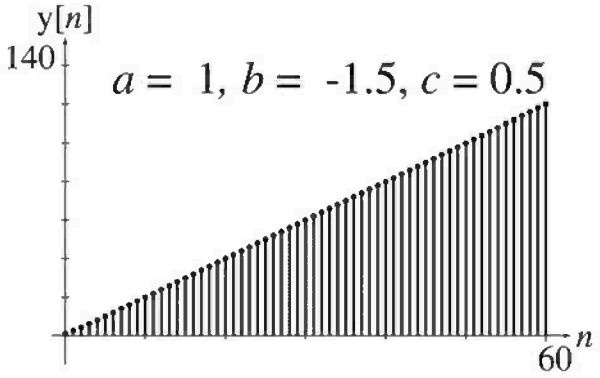
الآن نفترض أن c=0. 6 وسنترك b كما هي. في هذه الحالة ستكون الاستجابة كما في شكل (١,٢٤).

الآن نفترض أن c=0. 5 وسنتركb كما هي. في هذه الحالة ستكون الاستجابة كما في شكل (١,٢٥).

الاستجابة في شكل (١,٢٥) ستزداد إلى ما لانهاية. هذا النظام الأخير يعتبر غير مستقر، حيث إن إشارة الدخل المحددة تنتج استجابة غير محددة. وعلى ذلك فإن التغذية العكسية يمكن أن تنتج نظاماً غير مستقر.



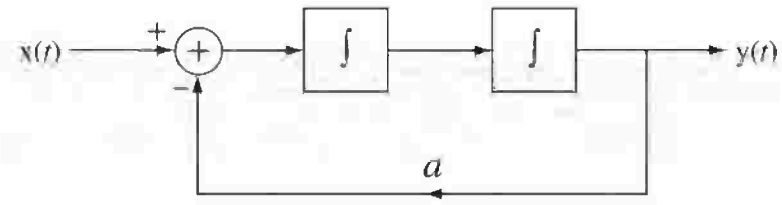
شكل رقم (١,٢٤) استجابة نظام الزمن المتقطع مع b=-1. 5 و c=0. 6



شكل رقم (١,٢٥) استجابة نظام الزمن المتقطع مع b=-1. 5 و c=0. 5

النظام الموضح في شكل (١.٢٦) يعتبر مثالاً على نظام التغذية العكسية في الزمن المستمر. لقد تم وصفه بالمعادلة التفاضلية y//(t)+ay(t)=x(t).

$$y_h(t) = K_{h1}sin(\sqrt{a}t) + K_{h2}cos(\sqrt{a}t)$$ المعادلة رقم (١.٤)

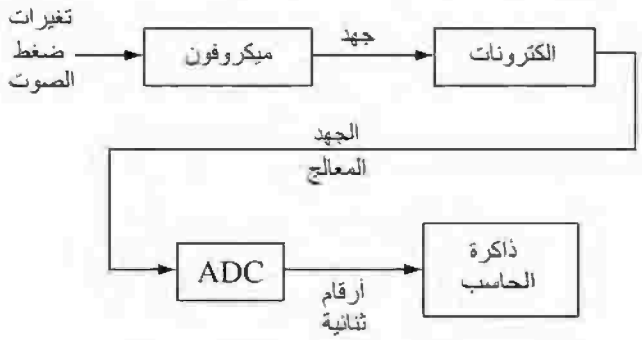


شكل رقم (١,٢٦) نظام تغذية عكسية في الزمن المستمر

إذا كانت الاستجابة x(t) تساوي صفر والاستجابة الابتدائية y(t0)لا تساوي صفراً، أو التفاضل الابتدائي للاستجابة y(t) لا يساوي صفراً وتم السماح للنظام أن يعمل تحت هذه الظروف بعد t=t0 فإن y(t) ستتردد جيبياً إلى ما لانهاية. هذا النظام يعتبر مذبذباً بمقدار ثابت. وعلى ذلك فإن التغذية العكسية يمكنها أن تسبب التذبذب اللانهائي.

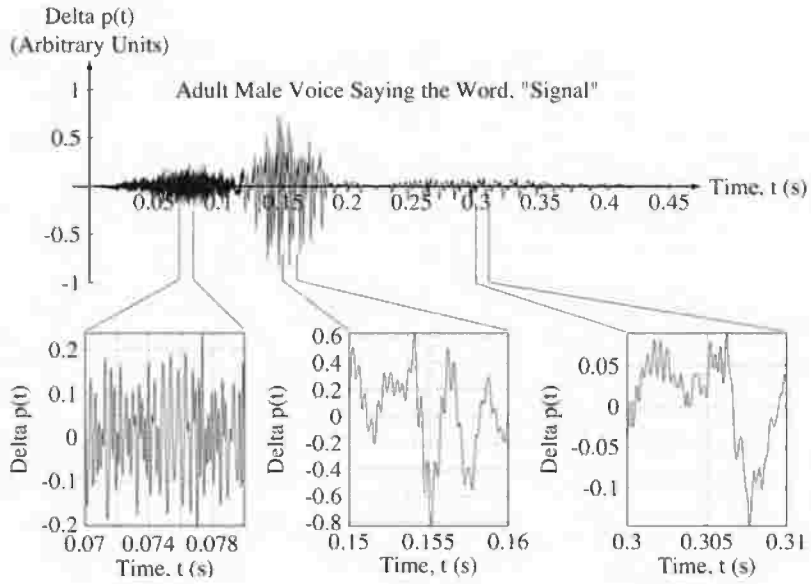
(١,٤)مثال معروف عن الإشارات والأنظمة

كمثال على الإشارات والأنظمة، دعنا ننظر إلى إشارة ونظام معروفين لكل واحد منا، إنه الصوت، والنظام الذي ينتج أو يقيس الصوت. إن الصوت هو ما تحسه الأذن.الأذن البشرية حساسة لموجات الصوت الضغطية ما بين 15 هرتز وحتى حوالي20 كيلوهرتز مع بعض التغيرات في الحساسية خلال هذا المدى فيما يلي سنرى بعض الأشكال لتغيرات ضغط الهواء التي تنتج بعض الأصوات المعروفة. هذه الأصوات تم تسجيلها باستخدام نظام يتكون من ميكروفون يقوم بتحويل تغيرات ضغط الهواء إلى إشارة جهد مستمرة زمنياً، ودائرة إلكترونية تقوم بمعالجة إشارة الجهد المستمرة زمنياً ومحول تماثلي رقميADC يقوم بتحويل إشارة الجهد المستمرة زمنياً إلى إشارة رقمية في صورة تتابع من الأرقام الثنائية التي يتم تسجيلها بعد ذلك في ذاكرة الحاسب كما في شكل (١.٢٧).



شكل رقم (١,٢٧) نظام تسجيل الصوت

افترض تغيرات الضغط الصوتي الموضحة في شكل (١.٢٨). إشارة الضغط المستمرة زمنياً التي تنتج صوت الكلمة "سجنال signal" التي تم نطقها عن طريق شخص بالغ ذكر (هو المؤلف).

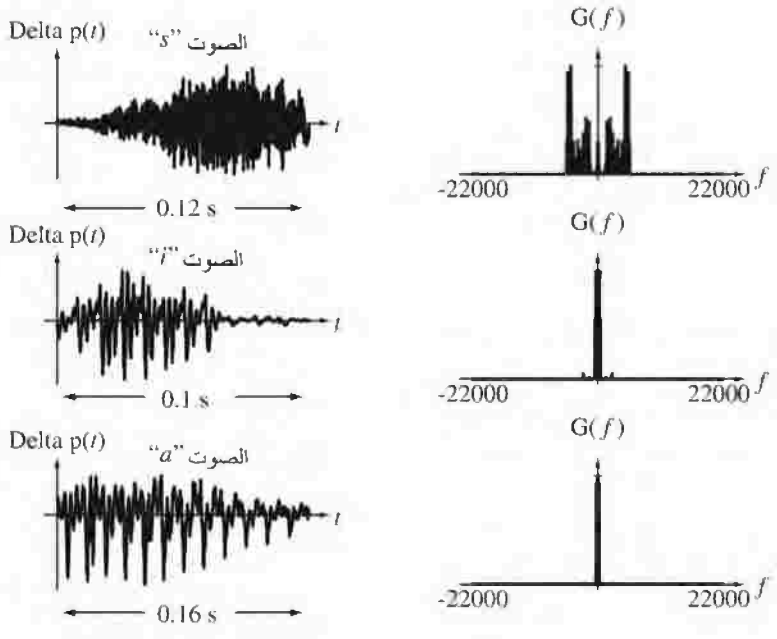


شكل رقم (١,٢٨) الكلمة "سجنال signal" منطوقة بصوت شخص بالغ ذكر

تحليل الصوت يعتبر موضوعاً كبيراً، ولكن بعض الأشياء عن العلاقة بين مخطط تغير ضغط الهواء وما يسمعه البشر مثل الكلمة "سجنال signal" يمكن توضيحها بالنظر إلى هذا المخطط. في هذا المخطط يمكن تحديد ثلاث دفعات للإشارة، الدفعة #1 وهي من صفر حتى 0 .12 ثانية، والدفعة الثانية من 0 .12 ثانية حتى حوالي0 .19 ثانية، والدفعة الثالثة من حوالي0 .22 ثانية حتى 0 .4 ثانية. الدفعة #1 هي الحرف sفي الكلمة "سجنال signal". الدفعة #2 هي الصوت i. المنطقة بين الدفعة #2 والدفعة #3 هي صوت السكون الثنائيgnفي الكلمة "سجنال signal". الدفعة #3

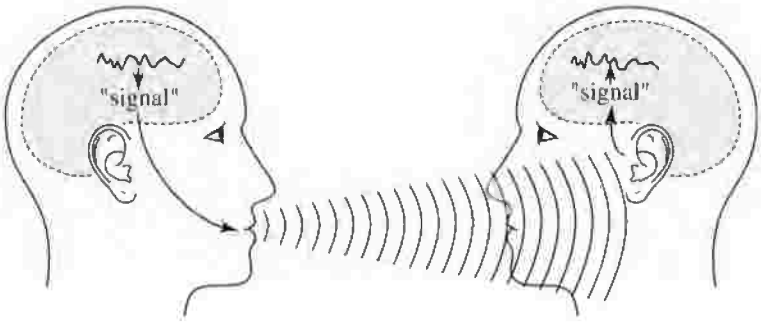
هي الصوت a المنتهي بالصوت الساكن l والوقف. l ليست سكون توقف مفاجئ كما هو الحال في السواكن الأخرى، حيث إن الصوت يحاول الهبوط، أو النزول التدريجي بدلا من التوقف السريع. تغيرات ضغط الهواء تكون في العادة أسرع للصوت s عنها للصوت i أو الصوت a. في تحليل الصوت من الممكن أن نقول إن به "محتويات ترددية عالية" أكثر. في فترة النفخ في الصوت s تبدو تغيرات ضغط الصوت عشوائية تقريباً. الصوتان i و a يكونان مختلفين في أنهما يتغيران ببطء كبير، وهما أكثر انتظاماً أو يمكن توقعهما (على الرغم من عدم إمكانية توقعهما بالضبط). الصوتان i و a يتشكلان عن طريق تغيرات في الأحبال الصوتية، ولذلك فإنهما يعرضان سلوكاً ترددياً تقريباً. يمكننا أن نصف ذلك بالقول بأن الصوتين i و aيكونا أصواتاً نغمية أو منطوقة بينما الصوت s ليس منطوقاً. النغمية هنا تعني أن هذه الأصوات لها الجودة الأساسية للنغمة المنفردة أو التردد المنفرد. هذا الوصف ليس دقيقاً حسابياً ولكنه يكون مفيداً.

طريقة أخرى للنظر للإشارة هي في النطاق الترددي، والذي ذكر فيما قبل، عن طريق فحص الترددات، أو التناغمات الموجودة في هذه الإشارة. طريقة شائعة لتوضيح تغيرات طاقة الإشارة مع التردد هي كثافة طيف القدرة، وهي عبارة عن شكل يوضح كثافة قدرة الإشارة مع التردد. شكل (١,٢٩) يوضح الثلاث دفعات s و i و a من الكلمة "سجنال signal" وكثافة طيف القدرة المصاحب لها، وهي الدالة G(f).



شكل رقم (١,٢٩) ثلاثة أصوات في الكلمة "سجنال signal" وكثافة طيف القدرة المصاحب لكل منها

كثافة طيف القدرة عبارة عن أداة حسابية لتحليل الإشارات. إنه لا يحتوي على أي معلومات جديدة، ولكنه أحيانا يمكن أن يكشف عن أشياء يكون من الصعب رؤيتها بالطرق الأخرى. في هذه الحالة، نرى أن كثافة طيف القدرة للصوت s موزعة بطريقة أوسع على التردد، بينما كثافة طيف القدرة للصوتين i و a موزعتان بطريقة ضيقة وفي نطاق الترددات المنخفضة. هناك طاقة أكثر في الصوت s عند الترددات الأعلى عنها في الأصوات i و a. الصوت s له حافة أو هسهسة بسبب وجود الترددات العالية في هذا الصوت.



شكل رقم (١,٣٠) الاتصالات بين شخصين تشتمل على إشارات وأنظمة لمعالجة هذه الإشارات

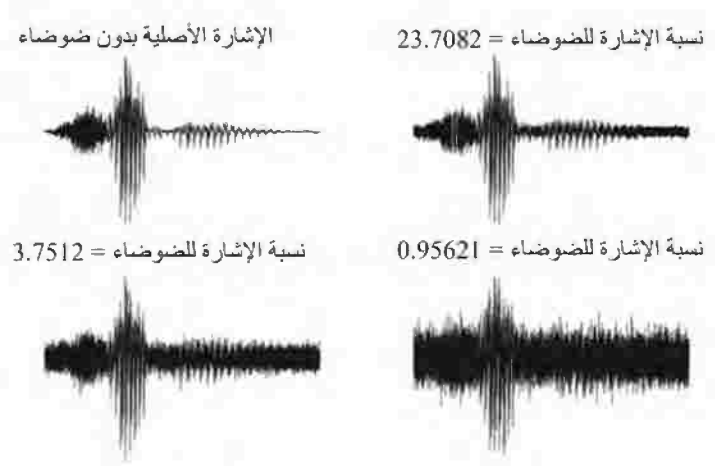
الإشارة في شكل (١,٢٨) تحمل معلومات. افترض ما يحدث أثناء المحادثة عندما يقوم شخص بنطق كلمة "سجنال signal" وشخص آخر يسمعها كما في شكل (١,٣٠). في البداية يفكر المتكلم في مفهوم الإشارة، حيث يقوم مخه بسرعة بتحويل هذا المفهوم إلى الكلمة "سجنال signal". بعد ذلك يرسل المخ نبضة عصبية إلى أحباله الصوتية والحجاب الحاجز لتوليد حركة الهواء وحركة اللسان والشفتان لإنتاج صوت الكلمة "سجنال signal". هذا الصوت ينتشر خلال الهواء بين المتكلم والمستمع. يصطدم الصوت بطبلة أذن المستمع حيث تتحول هذه الاهتزازات إلى نبضات عصبية، حيث يقوم مخ المستمع بتحويل هذه النبضات إلى صوت، ثم إلى الكلمة، ثم إلى مفهوم الكلمة. هذه المحادثة تم إنجازها بنظام على درجة عالية من التعقيد.

كيف عرف مخ المستمع أن النموذج المركب أو المعقد في شكل (١,٢٨) هو الكلمة "سجنال signal" ؟ إن المستمع لا يعنيه تفاصيل ذبذبات ضغط الهواء ولكنه بدلا من ذلك يستمع إلى الأصوات التي تنتج من تغير ضغط الهواء. تقوم طبلة الأذن والمخ بتحويل هذه النماذج المعقدة من ضغط الهواء إلى القليل من الخواص البسيطة. هذا التحويل يشبه ما نفعله عندما نقوم بتحويل الإشارة إلى النطاق الترددي. عملية التعرف على صوت عن طريق تحويله إلى مجموعة صغيرة من الخواص تقلل كمية المعلومات التي سيقوم المخ بمعالجتها. معالجة الإشارة وتحليلها بالمعنى التقني تعمل الشيء نفسه ولكن بطريقة حسابية أكثر دقة.

توجد مشكلتان شائعتان في تحليل الإشارات والأنظمة وهما الضوضاء والتداخل. الضوضاء هي إشارة عشوائية غير مرغوب فيها. التداخل هو إشارة غير عشوائية أو محددة ولكنها غير مرغوب فيها. كل من الضوضاء والتداخل يحاولان حجب أو إخفاء المعلومات الموجودة في الإشارة. شكل (١,٣١) يبين أمثلة على الإشارة من شكل (١,٢٨) مع إضافة مستويات مختلفة من الضوضاء.

مع زيادة طاقة الضوضاء يكون هناك تراجع تدريجي في وضوح الإشارة، وعند مستوى معين من الضوضاء تصبح الإشارة غير واضحة وغير مفهومة. هناك مقياس لجودة الإشارة المستقبلة المفسودة بالضوضاء وهي نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة الضوضاء، وتعرف عادة بنسبة الإشارة للضوضاء signal to noise ratio, SNR. في كل مثال في شكل (١,٣١) تم تحديد نسبة الإشارة للضوضاء.

الأصوات ليست هي فقط بالطبع الممثلة للإشارات. أي ظاهرة طبيعية يمكن قياسها أو ملاحظتها تعتبر إشارة. أيضاً، على الرغم من أن معظم الإشارات التي سنعتبرها هنا في هذا الكتاب ستكون دوالاً في الزمن، إلا أن أي إشارة يمكن أن تكون دالة في متغير مستقل آخر، مثل التردد، والطول الموجي، والمسافة، وهكذا. شكل (١,٣٢) و شكل (١,٣٣) توضح أنواع أخرى من الإشارات.



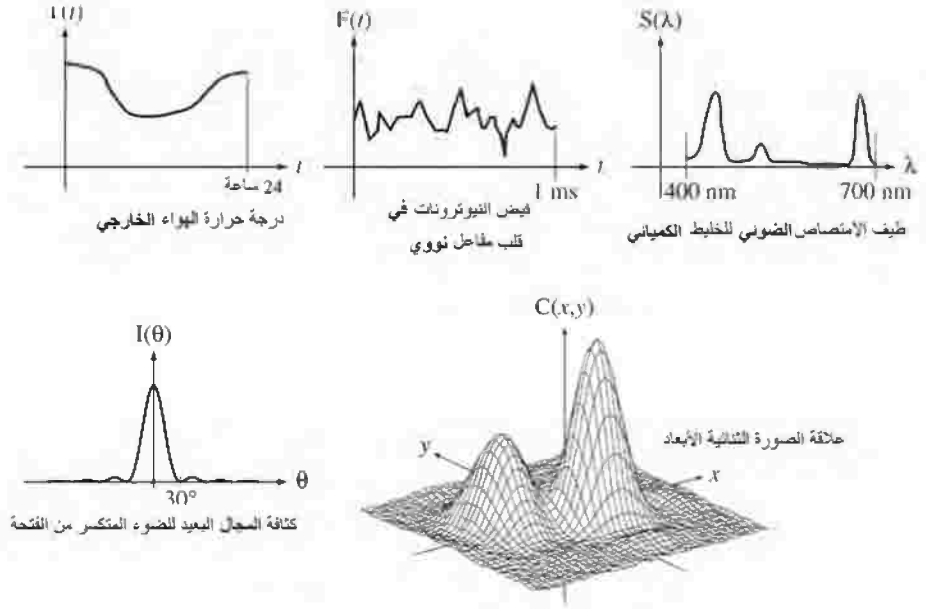
شكل رقم (١,٣١) صوت الكلمة "سجنال signal" مع إضافة مستويات مختلفة من الضوضاء

كما أن الصوت ليس هو الإشارة الوحيدة، فإن المحادثة بين شخصين ليست هي النظام الوحيد. من الأمثلة الأخرى على الأنظمة ما يلي:

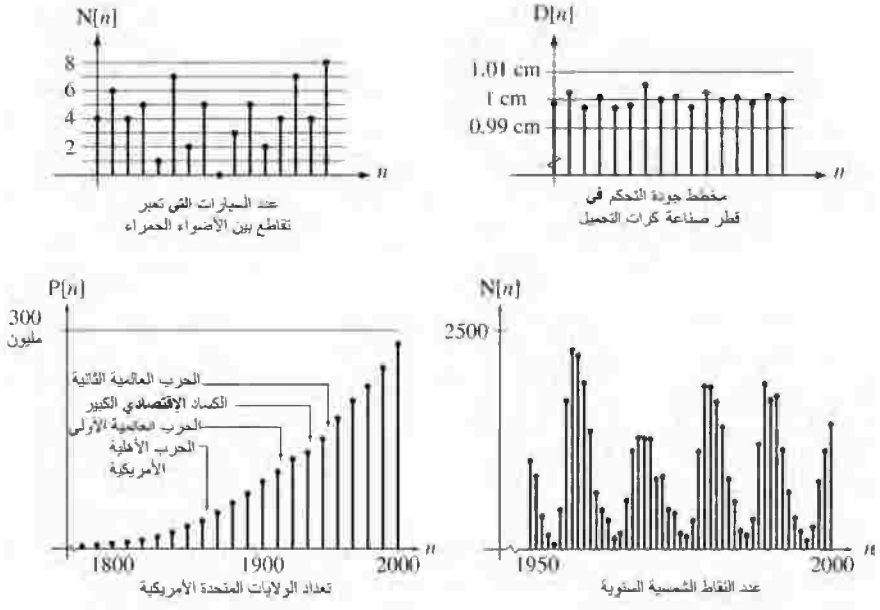
١- نظام التعليق في السيارة حيث يتم إثارة السيارة من سطح الطريق ويكون موضع هيكل السيارة بالنسبة للطريق هو استجابة هذا النظام.

٢- نظام وعاء خلط الكيماويات حيث يكون تدفق الكيماويات الداخلة هي دخل النظام وإشارة خرج النظام هي الكيماويات المخلوطة.

٣- نظام التحكم في جو أو وسط الأبنية، حيث تكون درجة الحرارة في الخارج هي إشارة الدخل والاستجابة هي درجة الحرارة في الداخل.



شكل رقم (١,٣٢) أمثلة على الإشارات التي تكون دوال في واحد أو أكثر من المتغيرات المستقلة المستمرة



شكل رقم (١,٣٣) أمثلة على الإشارات التي تكون دوال في متغير متقطع مستقل

٤- نظام الميكروسكوب الطيفي الكيميائي الذي يقوم فيه الضوء الأبيض بإثارة العينة والاستجابة هي طيف الضوء المرسل.

٥- نظام شبكة التليفونات الذي تكون فيه الأصوات والبيانات هي إشارات الدخل وإعادة إنتاج هذه الأصوات والبيانات عند المسافات البعيدة هي إشارة الخرج.

٦- نظام جو الأرض، الذي تتم إثارته عن طريق الطاقة الشمسية والاستجابة هي حرارة المحيط، والرياح، والسحاب، والرطوبة، وهكذا. بمعنى آخر فإن الطقس يمثل الاستجابة.

٧- نظام الازدواج الحراري تتم إثارته بسبب التدرج الحراري خلال طوله وتكون الاستجابة هي فرق الجهد الناتج عند إحدى النهايات.

٨- نظام البوق، أو الناي تتم إثارته بسبب الاهتزازات التي ينفذها الشخص بشفتيه وموضع الفتحات، وتكون الاستجابة هي النغمة الناتجة.

هذه القائمة لا نهاية لها، وأي ظاهرة طبيعية يمكن التفكير فيها كنظام، لأننا عندما نثيرها بطاقة طبيعية، فإنها تعطي استجابة طبيعية.

(١,٥) استخدام ماتلاب

خلال كل هذا الكتاب، سيتم تقديم أمثلة توضح كيفية عمل تحليل الإشارات والأنظمة باستخدام ماتلاب. ماتلاب هو أداة حسابية عالية المستوى تكون متاحة على العديد من الحاسبات. إنها مفيدة جداً في معالجة الإشارات وتحليل الأنظمة. هناك مقدمة عن ماتلاب في الملحق أ على الويب.