

Wege zur Analyse von seriellen Datenströmen

Messverfahren mit softwaregestützter Taktwiedergewinnung und langer Datenerfassung erhöht Messgenauigkeit

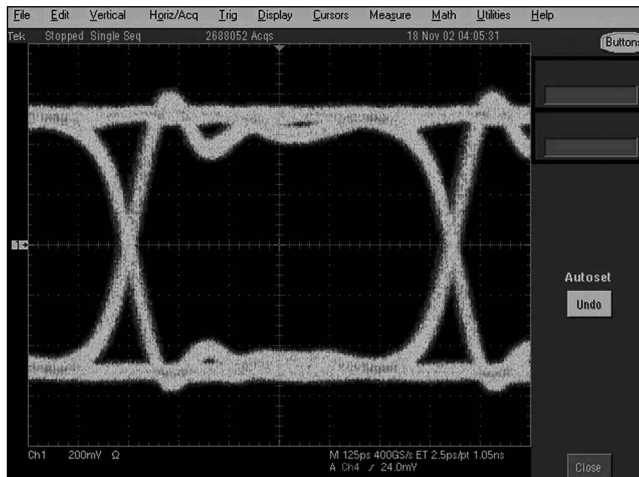


Abb. 1a: Ein Augendiagramm von vielen Triggern, wobei jeder Trigger ein einzelnes Bit in das ‚Persistence-Display‘ bringt. Eine Hardwareschaltung wird zur Taktwiedergewinnung genutzt. Das Trigger-Jitter und das Clock-Recovery-Rauschen wird dem aktuellen Signal-Jitter hinzugefügt



Abb. 1b: Dasselbe Signal wie in Abb. 1a mit einem einzigen Trigger. Der lange kontinuierliche Datenstrom wurde aber über viele Bits erfasst. Es gibt keinen Trigger-Jitter und zur Taktwiedergewinnung wurde ein mathematisches Verfahren genutzt. Das Augendiagramm ist viel klarer als in Abbildung 1a. Beachtenswert ist, dass die Flankenverschiebung durch die Intersymbol-Interferenz an der Separation der steigenden Flanke erkannt werden kann

Innnerhalb der letzten Jahre wurden eine Reihe von schnellen seriellen Datenbusprotokollen vorgestellt, die ältere und langsamere parallele Busse ablösen. Beispiele für diese neuen Standards sind RapidIO, Serial ATA, XAUI, PCI-Express, High Speed Fibrechannel. Viele dieser Standards nutzen Testmethoden und Spezifikationen von etablierten Standards aus dem Bereich Telekom, z.B. OC-12 oder OC-48. Signale mit diesen hohen Bitraten haben jedoch sehr kleine Toleranzmargen und daher muss der Entwicklungsingenieur sein Design gegen den Standard so testen und absichern, dass es die kleinen Toleranzen

nicht überschreitet. Dieser Artikel befasst sich mit neuen Methoden für die akkurate Erfassung serieller Datenströme, Verbesserungen der visuellen Überprüfung der Signale in Augendiagrammen sowie neuen Techniken zur Steigerung der Genauigkeit von Parametermessungen.

Ein positiver Aspekt bei den neuen Standards ist, dass weitgehend dieselben Parametertests durchgeführt werden müssen (wie Signalamplitude, Anstiegszeiten, Bitlänge), Jitter und Timingmessungen (Clock-zu-Daten-Jitter, Pulsbreiten-Jitter, Frequenzstabilität usw.) sowie Maskentests. Obwohl die Standards unterschiedliche Grenzwerte haben, sind doch die Testmethoden sehr ähnlich.

Fortschritt in der Signalerfassung

Der erste Schritt zum Test eines seriellen Datensignals ist die Erfassung einer repräsentativen Signalform, die zeigt, wie das Signal aussehen soll. In vielen Fällen besteht die erste Aufgabe in der Kontaktierung des Signals mit

einem Tastkopf. Bis vor kurzem hatte der schnellste verfügbare differentielle Tastkopf eine Bandbreite von 3,5 GHz. Dies reicht nicht zur Messung von Signalen mit Datenraten von 2,5 GBit bis 3,5 GBit aus. In den letzten Monaten wurden daher verschiedene differentielle Tastköpfe mit höheren Bandbreiten vorgestellt, wie beispielsweise die 7,5-GHz- und 4-GHz-Wavelink-Tastköpfe von LeCroy.

Diese Tastköpfe kombinieren niedrige Kapazität und Induktivität mit hoher Bandbreite, um die Erfassung von sehr schnellen differentiellem Signalen bei bestmöglicher Erhaltung der Signalintegrität zu ermöglichen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Tastköpfe ist die geringe Dämpfung um den Faktor 2, verglichen mit 10-facher oder 6,5er Dämpfung bei Tastköpfen anderer Anbieter. Dadurch wird eine wesentlich höhere Signalamplitude am Probe-Ausgang verfügbar. Beispielsweise sind am Tastkopfausgang bei einem LVDS-Signal mit einem Hub von 100 mV bei einem Wavelink-Tastkopf noch 50 mV Signalamplitude gegenüber 10 mV oder ca. 15 mV bei anderen Modellen vorhanden.

Der Tastkopf bringt das Signal auf den Eingang des Oszilloskops. Neueste technologi-

Autoren

Dr. MICHAEL LAUTERBACH ist Director of Product Management

MICHAEL SCHNECKER ist Product Manager
LeCroy Europe GmbH;
Waldhofer Str. 104, D-69123 Heidelberg
Fon: 06221/82700, Fax: 06221/834655
E-Mail: contact.gmbh@lecroy.com

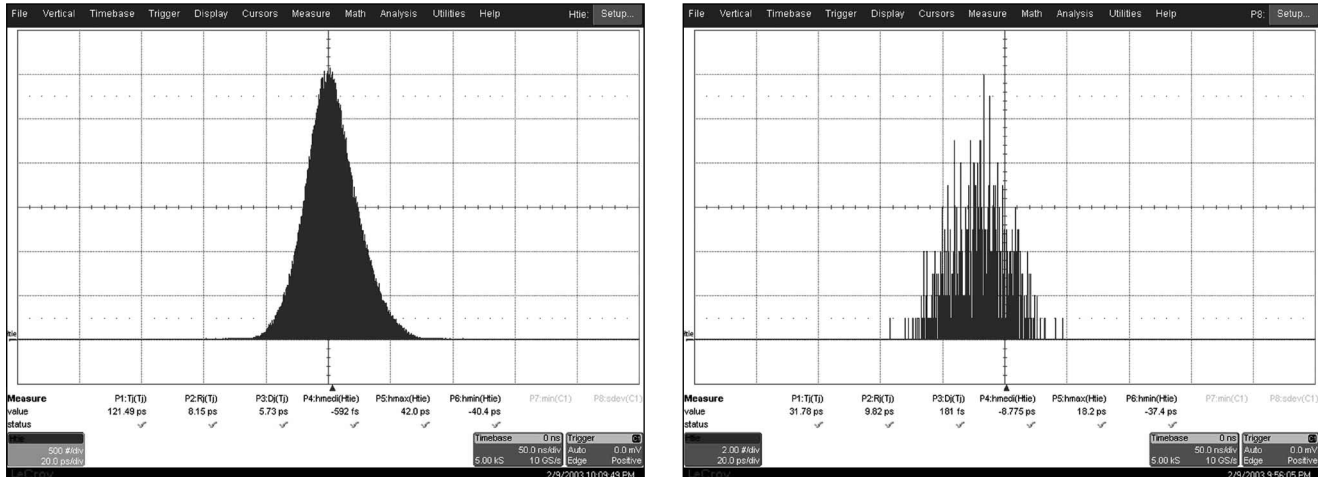


Abb. 2a/b: Jitter-Histogramm über 300 k Bits unter Nutzung einer Software-PLL (links) und 250 Bits unter der Annahme einer festen Frequenz

sche Entwicklungen ermöglichen Echtzeit-oszilloskope mit bis zu 6 GHz Analogbandbreite der Eingangverstärker, 20 GS/s Abtastrate der A/D-Wandler (20 Abtastpunkte pro Nanosekunde) und 100 Millionen Punkte im Erfassungsspeicher. Diese Kombination erlaubt die kontinuierliche Erfassung von Signalen über 5 ms mit einer Abtastrate von 20 GS/s. Die Möglichkeit der Erfassung solcher langer kontinuierlichen Bitserien von seriellen Daten und deren Analyse mit der ‚X-Stream‘-Verarbeitungseinheit mit einer Rechengeschwindigkeit von einem GigaFlop (eine Milliarde Fließkommaberechnungen pro Sekunde) ermöglichen neue, noch genauere Methoden der Messung von Schlüsselcharakteristiken serieller Daten.

Augendiagramme

Vor vielen Jahren bereits wurde das Augendiagramm als einfache und schnelle Methode entwickelt, um visuell die Übertragungsqualität von seriellen Daten zu überprüfen. In einer ersten Entwicklungsstufe wurde ein Oszilloskop auf das Taktsignal getriggert, das das Übertragungssystem steuert. Der Anwender betrachtet einfach die überlagerten Einsen und Nullen und schätzt visuell die Größe des Jitters und der Amplitudenschwankungen. Die nächste Stufe erfolgte durch die Definition von Standardtestmasken. Wenn ein Signal die Maske verletzt, so verletzt es auch den Standard. Typische Masken haben ein ‚Auge‘ im Zentrum. Zusätzlich sind oben sowie unten Maskenabschnitte, die auf Über- und Unterschwingen testen. In der Vergangenheit hat ein Oszilloskop bei jedem Clock-Trigger ein paar Punkte eines Bits erfasst und sukzessive ein Abbild der Daten aufgebaut. (Abb. 1a). Die letzte technologische Entwicklung erlaubt es seriellen Datenanalysatoren, mit einem einzigen Trigger bis zu 8.000.000 (223) kontinuier-

liche Bits in seriellen Datenströmen zu erfassen, die Clock zu extrahieren und alle acht Millionen Bits in einem Augendiagramm übereinander zulegen. (Abb. 1b).

Dies hat mehrere Vorteile. Zuallererst die Geschwindigkeit der Tests betreffend. Die Aufgabe des Augendiagramms ist es, seltene, die Maske verletzende Ereignisse zu finden. Manchmal erfordert die Erfassung einer ausreichenden Anzahl von Daten stundenlange Messungen. Ein zweiter Vorteil ist die erhöhte Genauigkeit. Bei früheren Methoden der Messung von Augenmustern beeinflusst der Trigger-Jitter das Messergebnis erheblich. Durch die neue Methode ist jedes Bit auf den extrahierten Takt und nicht auf den Oszilloskop-Trigger bezogen, dadurch ist der Effekt des Trigger-Jitters eliminiert. Ein dritter Vorteil der neuen Methode zur Erzeugung eines Augendiagramms ist die Möglichkeit, dass der Ingenieur jedes Datenbit lokalisieren kann, welches die Maske verletzt. Das Gerät digitalisiert die komplette Datenpattern mit dem A/D-Wandler in bis zu 100 Millionen Datenpunkte des Erfassungsspeichers. Die gesamten acht Millionen Bits ohne Lücken und Totzeit mit hoher Genauigkeit und mit bis zu zwölf Erfassungspunkten pro Bit können aufgezeichnet werden. Damit lassen sich die Bits, die die Maske verletzen, innerhalb des Datenstromes lokalisieren. Der Ingenieur kann leichter herausfinden, warum der Fehler in der Datenübertragung aufgetreten ist.

Diese neue Methode bringt auch eine Zeitersparnis bei der Produktentwicklung mit sich. Wenn z.B. beim abschließenden Systemtest zur Produktionsfreigabe ein fehlerhaftes Augendiagramm festgestellt wurde, kann der Testingenieur nicht nur das Augendiagramm an den Entwickler weiterreichen, sondern auch den Datensatz, der den Fehler enthält. Damit kann der Entwicklungsingenieur sofort mit der Ursachenforschung beginnen, ohne

erst langwierig versuchen zu müssen, den Fehler zu reproduzieren.

Ein weiterer Vorteil bei diesem Verfahren liegt darin, dass keine Clock zur Verfügung stehen muss. Die meisten Messungen an seriellen Datenströmen stoßen auf das Problem, das der Takt nicht als Signal mitübertragen wird, sondern vielmehr in den Datenstrom eingebettet ist. Bisherige Ansätze nutzten Hardware, um den Takt aus dem Datensignal zu extrahieren. (Clock Recovery, CDR). Durch diese zusätzliche Elektronik wird auch zusätzliches Jitter und Rauschen zwischen dem Taktsignal und den Datenbits verursacht. Bei der neuen Erfassungsmethode werden die gleiche Art von Clock-Recovery-Filtern mathematisch auf das Signal angewendet, wie bei der Anwendung von Hardware. Das Ergebnis ist die Extraktion der Clock, wobei kein weiteres Jitter dem Signal hinzugefügt wird. Ein Vergleich der Abbildungen 1a und 1b zeigt, dass die herkömmliche Methode sichtbar mehr Jitter aufweist, der durch das Testinstrument dem Signal hinzugefügt wird. Mit dem neuen Verfahren wird der wirkliche Umfang des Signaljitters deutlich und das Testgerät zeigt ein wesentlich genaueres Augendiagramm.

Jitter-Test

Je höher die Bitraten werden, desto geringer werden die Jitterbudgets. Ein Unit-Intervall eines 2,5-Gbit-Signals ist nur 400 ps lang. Der Zweck der Jittertests ist es, sicherzustellen, dass kein Bit zu früh oder zu spät bezogen auf seine Sollzeit ankommt. Obwohl ein bestimmter Jitterbetrag erlaubt ist, können bei neueren Standards Schwankungen von max. 50 bis 75 ps vorgegeben werden. Typisch werden die Stabilität der Perioden, der Halbperioden und der Zyklus-zu-Zykluszeiten getestet. Jitter ist ein statistisches Phänomen, daher

erfassen die besten Jittertests große Mengen von Daten. Damit wird sichergestellt, dass eine statistisch relevante Anzahl von Bitpattern erfasst wird, damit Jitter, verursacht durch die Intersymbol-Interferenz, die Tastverhältnisverzerrung und anderer musterabhängiger Charakteristiken adäquat getestet werden kann.

Eine Möglichkeit das Gesetz der Statistik zu erfüllen ist es, einfach so viele Daten aufzuzeichnen, dass in diesen Daten jedes Bitmuster aufgenommen wurde. Eine bessere Methode ist die Nutzung von tiefem Speicher eines seriellen Datenanalysators zur Erfassung von jedem Bit eines Testpatterns von bis zu acht Millionen aufeinanderfolgender Bits und die Anwendung der Jittermessungen auf diesen Datensatz. Das Gerät kann den Jitter berechnen, diesen in zufälligen (verursacht durch Rauschen) und deterministischen (verursacht durch Eigenschaften des Designs) Jitter aufteilen. Der deterministische Jitter kann weiter in ISI (Intersymbol Interferenz), DCD (Tastverhältnisverzerrung), PJ (Perioden-Jitter) und BC (Bounded Component) unterschieden werden. Der Ingenieur kann überprüfen, ob der Übertrager die Tests besteht, oder aber den exakten Grund für einen Fehler finden. Dies ist insbesondere nützlich bei Serial ATA, PCI Express und anderen seriellen Datenformaten, die Taktspreizung verwenden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass das ‚worst case timing‘ auftritt, wenn durch die Taktspreizung extrem kurze oder lange Datenbits verursacht werden. Bei der Erfassung von langen Datensätzen kann der Nutzer sicher sein, dass er diese zyklischen aber seltenen Ereignisse auch erfasst.

Bedeutend bei Jittermessungen ist es, dass eine statistisch relevante Anzahl von Ereignissen der Analyse zugrunde liegt. Die Anzahl der Messungen sollte so groß sein, dass man mit ausreichender Sicherheit sagen kann, dass die schlechtesten Jitterbedingungen mit erfasst wurden.

Zum Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit, den vollen Jitterbereich der Bitbreite zu erfassen, bei der Akquisition mehrerer Zyklen der Taktspreizung wesentlich höher, als wenn nur einige hundert Bits erfasst werden. Die Abbildungen 2a und 2b zeigen den Unterschied zwischen zwei Jitterhistogrammen gemessen über 250 Bits und 300.000 Bits.

Im Fall der kurzen Erfassungslänge könnte man annehmen, dass die Frequenz der Clock einen festen Wert hat. Dagegen wurde bei der Erfassung in den tiefen Speicher eine Software-PLL eingesetzt, um langsame Änderungen der Frequenz zu eliminieren, genauso wie eine PLL in Empfängerschaltungen den Taktschwankungen folgt. Der große Datensatz misst das Jitter sehr genau und auf demselben Weg wie die Empfängerschaltungen.

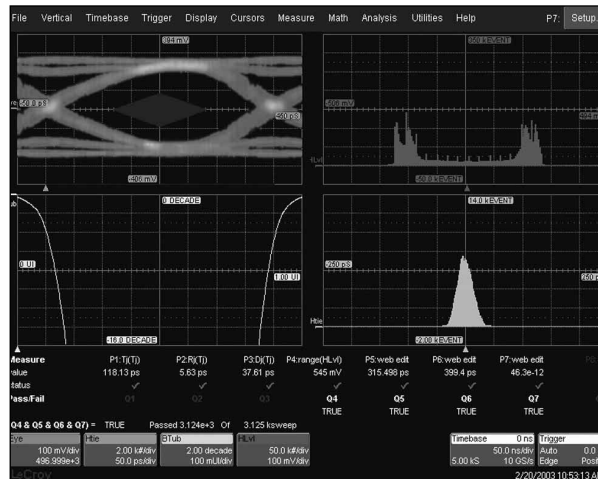


Abb. 3: Ein PCI-Express-Konformitätstest. Beachtenswert sind die vier Tests in der unteren rechten Ecke, welche die maximale Amplitude (545 mV), die Öffnung des Auges (315,5 ps), die mittlere Bitbreite (399,4 ps) und das ‚worst case jitter‘ (46,4 ps) anzeigen. Der Bildschirm zeigt außerdem den Maskentest, die Jitter-Bathtub-Kurve, das Tj (Totaljitter), Rj (Random Jitter) und Dj (Deterministisches Jitter)

Parametertest

Für Konformitätstest schreiben die einzelnen Datenübertragungsstandards spezielle Messungen an Schlüsselparametern vor. Oszilloskope und serielle Datenanalysatoren können eine große Menge an Signalparametern (mehr als 100) messen. Neueste Systeme erlauben zusätzlich die Definition von kundenspezifischen Parametern (firmeninterne oder Parameter neuer Standards) und die Einfügung dieser in das Messsystem. Solche Kundenparameter können in Matlab, Mathcad, als ein Visual Basic Script oder auch als Gleichung in Excel definiert werden. Diese Methode ist wesentlich effektiver als alle Daten in eine Software von Drittherstellern zu exportieren. Außerdem wird dem Anwender ermöglicht, diesen Parameter in die Standardoszilloskopwerkzeuge einzubinden, z.B. ein Histogramm oder eine Trendkurve des Kundenparameters zu erstellen. (bei einer Abweichung des Parameters innerhalb des aufgezeichneten Datensatzes kann der Nutzer direkt an die Stelle im Originalsignal zoomen, wo diese Abweichung auftritt.) Typische Messungen an optischen Signalen umfassen Extinction Ratio (wie hell ist das Licht einer ‚1‘ gegenüber einer ‚0‘) oder den Q-Faktor (eine Messung zur Bitbreitenschwankung). Bei elektrischen Signalen sind typische Parameter das Über- und Unterschwingungen, sowie die Amplitude. Abbildung 3 zeigt einen Konformitätstest eines PCI-Express-Signals. Der serielle Datenanalysator hat einen langen kontinuierlichen Datensatz über mehrere Taktspreizungsperioden erfasst, einen Maskentest durchgeführt, die Jitter-Bathtub-Kurve berechnet, die Verteilung der Bitflanken sowie des Time-Interval-Fehlers angezeigt (Parameter TIE, er bestimmt die Position jedes Datenbits zu seiner Sollposition). Außerdem wurden vier kundenspezifische Parameter berechnet. Diese Parameter sind: eye width, peak amplitude, average bit width und peak bit width jitter.

Zusammenfassung

Neue, schnellere Standards für die Datenübertragung erfordern genauere Testinstrumente. Dieser Bedarf wird durch neue Technologien zur Analyse von Datenströmen durch die Erfassung langer kontinuierlicher Reihen von Bits möglich. Dabei werden mit hoher Zuverlässigkeit alle Testpattern und auch mindestens ein voller Zyklus bei der Taktspreizung erfasst. Diese Technik erhöht das Vertrauen, dass das Testobjekt wirklich die Spezifikationen einhält (oder eben auch nicht). Durch den Einsatz einer leistungsfähigen Berechnungseinheit, der X-Stream-Technologie, kann das Gerät alle Standard- und kundenspezifischen Parameter messen, sowie alle Bits im Augendiagramm gegen die Maske testen. Diese Tests können mit höherer Genauigkeit als bisher durchgeführt werden. Es wird kein Trigger-Jitter mitgemessen und durch die Anwendung mathematischer und nicht Hardware basierter Clock-Extraktion wird auch kein Jitter zum Clock-/Daten-Timing addiert.

Beitrag als PDF im Internet:

www.duv24.net
more @ click TK4B0104

How to use more @ click !

1. www.duv24.net
2. ‚more@click‘-Code eingeben
3. Anbieter kontaktieren – diskutieren – recherchieren