

13. Kapitel / Jennifer Vincenz

Macht doch alles der Autorouter, oder?

Routingstrategien für das CAD-Layout

Entflechtung vollautomatisch, halbautomatisch oder doch lieber manuell?

Es ist noch gar nicht so lange her, da wurde dem geplagten Designer eine rosige Zukunft versprochen. Der Autorouter sollte alles richten, ein Knopfdruck, noch einen Kaffee geholt, und ab ins Wochenende.

Wie so oft im Leben hat uns die Wirklichkeit schnell eingeholt. Wir haben gelernt, daß der Autorouter nicht alles kann oder aber daß das Füttern desselben mit allen nötigen Vorgaben und Restriktionen im Grunde genau soviel Zeit braucht, wie das manuelle Verlegen der Leitungen.

Das hat inzwischen auch die EDA-Industrie erkannt. Die Autorouter werden als das angeboten, was sie sind, ein Hilfsmittel, aber kein Allheilmittel. Nun will ich den Autorouter nicht völlig verdammen, es gibt eine Vielzahl von Aufgabenstellungen, die von einem gut eingestellten Autorouter gelöst werden können.

Aber: Was immer bleibt ist die Überarbeitung des Designs und dafür braucht es unverändert den Designer mit seiner Erfahrung und Kenntnis.

Was ist, wenn nun aber gar kein Autorouter eingesetzt werden soll oder kann?

Tja, dann wird "zu Fuß" entflochten. In ein manuelles Layout fließt stets die ganze Kompetenz des Designers und seiner Erfahrung ein. Letztere ist üblicherweise aus unzähligen Layoutsituationen und Anforderungen gewachsen und kann sicherlich nicht in ein paar Sätzen vermittelt werden. Aber ein paar grundlegende Betrachtungen wollen wir hier veranschaulichen. Dazu gehören Fan-Outs ebenso wie die grundsätzliche Entscheidung, mit oder ohne Raster zu arbeiten.

Rastergestütztes Routen

Vorweg sei die Bemerkung erlaubt, die Einstellung "rasterlos" heißt für ein CAD-System eigentlich auch nur, daß lediglich ein Raster in Größe der maximalen Auflösung des Systems verwendet wird. Dies ist üblicherweise so fein, daß wir uns täuschen lassen und meinen, wir würden "rasterlos" arbeiten.

Ein Nachteil der rasterlosen Entflechtung ist in jedem Fall die Tatsache, daß die Einhaltung gleichmäßiger Abstände ausgesprochen schwierig wird. Es sei denn, es wird konsequent auf "Minimal-Spacing" geroutet. Dies kann jedoch die statistische Fehlerwahrscheinlichkeit erhöhen.

Kritisch aus fertigungstechnischer Sicht wird es, wenn zusätzlich noch freie Winkel zugelassen werden.

Wird hingegen ein Routingraster verwendet, dann ist die Einhaltung gleichmäßiger Abstände quasi naturgegeben. Nun ist aber eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Leitungen nicht nur optisch ansprechender, sie hat auch fertigungstechnische Vorteile. Wichtig ist dabei die Wahl des richtigen Rasters, um einerseits möglichst viele Leitungen unterzubringen, andererseits aber auch gleichmäßige und größtmögliche Abstände zu den Bauteilpins zu erzielen.



In einem CAD-System können heutzutage die verschiedensten Raster eingestellt werden: für Leiterbahnen, für Bauteile, für Vias, für Testpunkte. Sie alle haben durchaus eine Berechtigung. Nehmen wir das Beispiel eines Testpunktrasters. Dies sollte sinnvollerweise auf das Adapteraster eingestellt sein. Auf diese Weise wird verhindert, daß es bei der Adaptierung zu unerreichbaren Testpunkten oder zur Berührung der Testnadeln kommt.

Wenn wir das eigentliche Routing-raster betrachten, also das Raster für das Verlegen der Leiterbahnen, so werden wir feststellen, daß es DAS optimale Entflechtungsraster nicht gibt. Dazu gibt es heute einfach zu viele unterschiedliche Anschlussraster bei den Bauteilen.

Eine gute Herangehensweise ist, zunächst das Entflechtungsraster an den komplexesten Teil des Layouts anzupassen, z.B. an den BGA mit dem schwierigsten Fan-Out.

Glücklicherweise ist es heute für die meisten CAD-Systeme kein Problem mehr, das Raster während der Arbeit umzuschalten, sowohl während der Platzierung von Bauteilen als auch während des Verlegens der Leitungen (Bild 13-1).

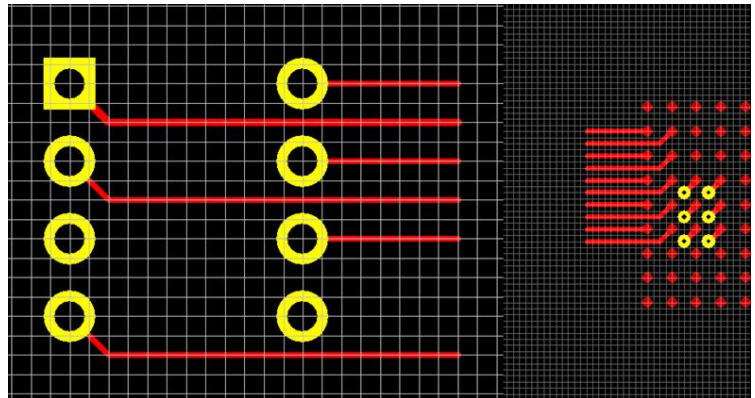


Bild 13-1 Entflechtungsraster 0.2mm für das Fan-Out aus einem BGA mit 0.8mm Pitch und einem Entflechtungsraster von 25mil für ein DIL-Gehäuse

Vorzugsrichtungen

Die lagenorientierte Festlegung einer Vorzugsrichtung für das Verlegen von Leiterbahnen hat einige Vorteile. Die Strukturierung des Routings erhöht die Übersicht und hilft, die Lagenzahl zu minimieren. Günstig ist beispielsweise eine alternierende Vorzugsrichtung, beispielsweise senkrecht auf Signallage 1, waagrecht auf Signallage 2, wieder senkrecht auf Signallage 3 und so weiter. Dieses orthogonale Verlegen von Leiterbahnen auf benachbarten Lagen, die nicht durch eine GND-Lage getrennt sind, minimiert den Crosstalk.

Im Fall von zwei Signallagen, die im Inneren des Multilayers zwischen zwei Planes liegen, kann das Dual-Stripline-Modell für impedanzdefinierte Leitungen genutzt werden. Für eine Single-Ended-Impedanz werden die Leitungen ebenfalls orthogonal zu einander verlegt, für eine Differentielle Impedanz können sie auch exakt parallel übereinander verlegt werden.

Für den Autorouter sind vorgegebene Vorzugsrichtungen bindend. Für gewöhnlich müssen zulässige Abweichungen ebenfalls vorgegeben werden. Diese werden vom Autorouter dann jedoch allerdings auch grundsätzlich genutzt und blockieren möglicherweise eine optimale Strategie.

Im Gegensatz dazu kann der Mensch jedoch Abweichungen flexibler und intelligenter gestalten. Wenn beispielsweise auf einer Lage mit Vorzugsrichtung "waagrecht" auf der rechten Hälfte des Designs keine offenen Verbindungen in waagerechter Richtung mehr übrig sind, wird jeder instinktiv diesen Bereich für die verbliebenen senkrechten Verbindungen nutzen.

Ein Autorouter tut dies nicht, jedenfalls nicht, wie der Name suggerieren möchte, automatisch.

Fan-Out - Wie komme ich raus aus dem Baustein?

Ebensowenig wie es DAS optimale Routing-Grid gibt, gibt es DEN optimalen Fan-Out für ein Bauteil. Da stellt sich schon im Vorfeld die Frage, wie nützlich ein "vorgefertigter Fan-Out" sein kann, der mit dem Footprint in der Bibliothek gespeichert wird. Entscheidend ist der Pitch des Bauteils und in erster Linie das Ziel der angeschlossenen Signale. Letzteres hängt wiederum einerseits von der Anzahl und der Art der angeschlossenen Bauteile und andererseits von deren Platzierung ab.

Ein Fan-Out, der die perfekte Lösung für die *eine* Anschlußumgebung darstellt, kann für eine *andere* Design-situation völlig unbrauchbar sein.

Eine Grundsatzentscheidung bei allen Fan-Outs ist in jedem Fall: Via-In-Pad "Ja" oder "Nein".

Insbesondere für BGAs ist dies von großer Bedeutung. Ist erst einmal die Entscheidung getroffen, dann ist es meist von Vorteil, wenn sie im Fall von BGAs durchgängig gehandhabt wird. Also entweder *alle* Pins mit Dog-Bone-Anschluß verdrahtet oder *alle* mit Via-in-Pad.

Ein Strategiewechsel für das Routing innerhalb desselben BGAs führt oft zu Unterschreitungen des fertigungstechnisch benötigten Mindestabstands von Via zu Via (Bild 13-2).

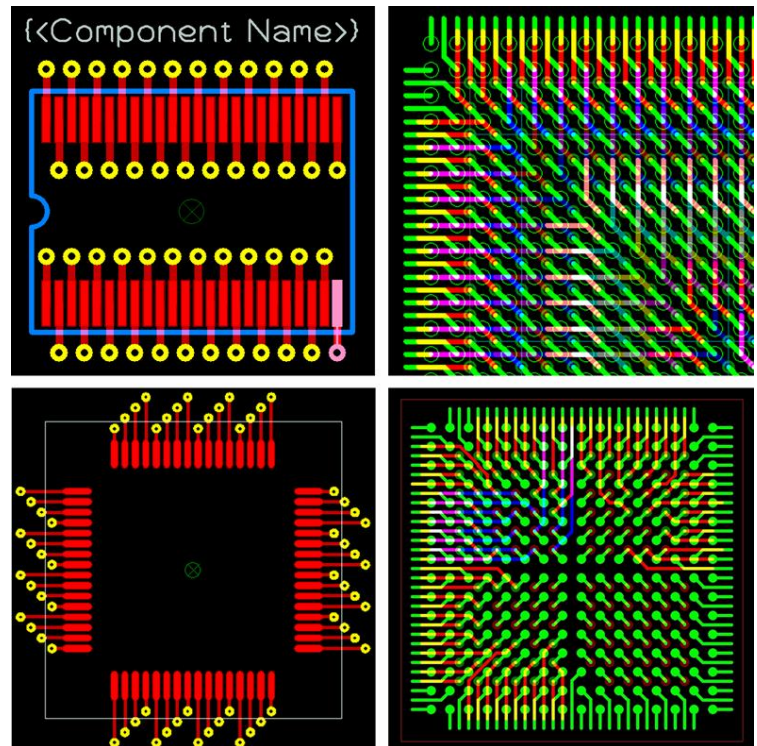


Bild 13-2 Verschiedene Fan-Out-Varianten

Routing-Kanäle

Jeder Fan-Out benötigt Raum und dieser benötigte Raum ist oft erheblich größer als das Bauteil selbst. Nur selten ist es möglich, Leitungen auf derselben Lage 1:1 anzuschließen.

Im Fall von BGAs können ohnehin maximal die beiden äußeren Pinreihen auf der gleichen Lage herausgeführt werden, auf der das BGA platziert ist, wenn davon ausgegangen wird, daß nur eine Leitung zwischen zwei BGA-Pins hindurchgeführt werden kann.

Für die nächsten beiden Reihen wird bereits eine weitere Signallage benötigt. Und im Prinzip für jede darauf folgende Reihe eine weitere Signallage, unter der Annahme daß auch zwischen zwei Vias nur eine Leitung hindurchgeführt werden kann.

Bei einem Virtex 5 FX20 wären dies 13 Reihen. Für die ersten 4 Reihen benötigt man 2 Signallagen und für jede weitere Reihe theoretisch eine weitere Lage, also insgesamt 9 Signallagen. Zieht man jedoch die nicht angeschlossenen Pins und die Stromversorgungspins ab, die an Powerplanes angeschlossen werden, dann reduziert dies bereits die Anzahl der benötigten Lagen.



Durch die Wahl eines Fan-Outs, der den BGA in Quadranten einteilt, können in den entstehenden breiteren Routing-Kanälen zusätzlich mehr Leitungen geführt werden.

In der Praxis führt dies dazu, daß der vorgenannte Virtex 5 FX20 in maximal 4 Signallagen entflochten werden kann (Bild 13-3).

Grundsätzlich muß beim Fan-Out darauf geachtet werden, daß Vias nicht zu dicht zueinander platziert werden.

Erstens darf der Mindestabstand von Via zu Via nicht unterschritten werden. Zweitens dürfen auf den Powerplanes durch benachbarte Isolationspads keine virtuellen Schlitze entstehen. Und Drittens dürfen anzuschließende Vias durch ineinanderlaufende Isolationspads nicht von der Plane getrennt werden (Bild 13-4).

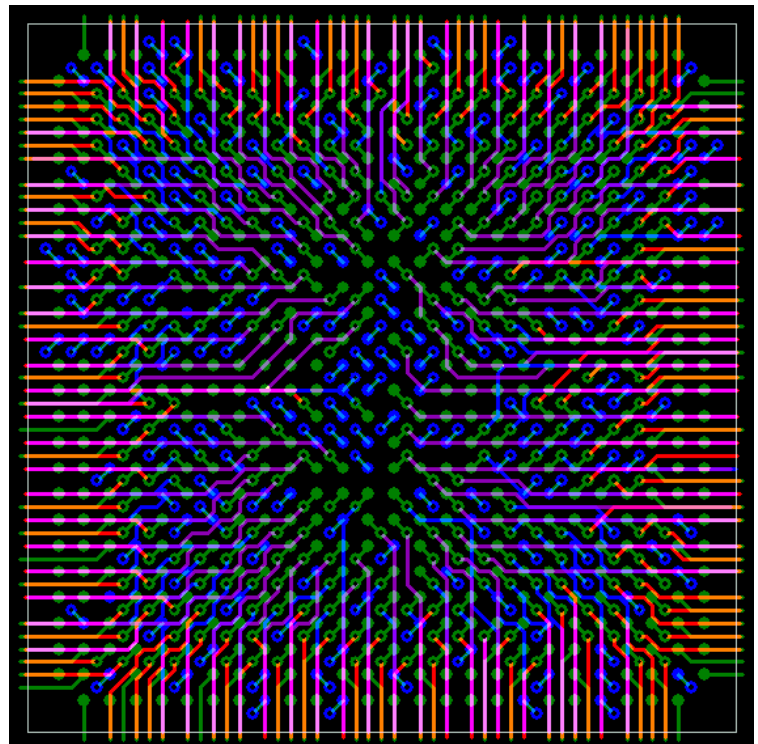


Bild 13-3 Beispiel Fan-Out Virtex 5 FX20

Alles kreuz und quer ?

Oft sieht beim ersten Einblenden der "Gummibänder" oder "Luftlinien" alles schlimmer aus, als es ist.

Trotzdem, je mehr Kreuzungen für die Anschlüsse vorliegen, sei es platzierungs- oder programmierungsbedingt, desto mehr Raum wird dann für Vias benötigt.

Ein Via benötigt mindestens den Raum für drei Leitungen (Bild 13-5). Vorgegebene Platzierungen können dazu führen, daß entweder mehr Vias benötigt werden oder daß im BGA Routingkanäle blockiert werden, weil Leitungen durch den Baustein geführt werden.

In Folge werden mehr Signallagen benötigt, als ursprünglich abgeschätzt wurden. Da hilft nur, die Leitungen außen um den Baustein herumzuführen.

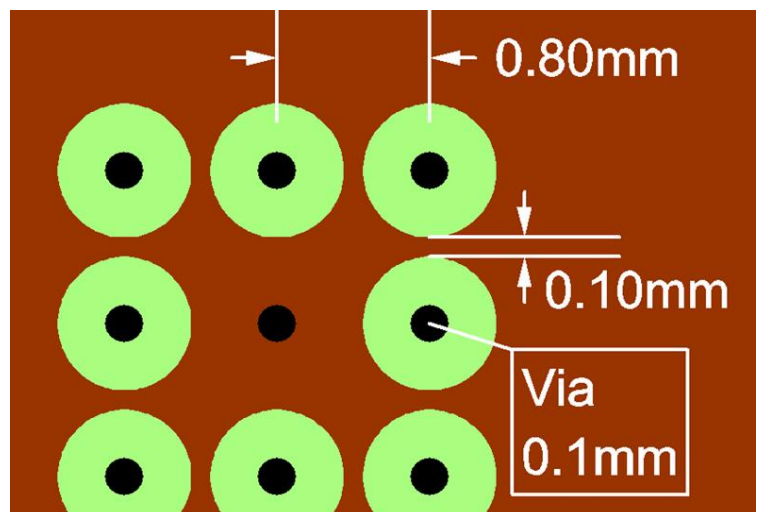


Bild 13-4 BGA Pitch 0.8mm, mit Stromanschluß maximal 100µm trotz Minimal-Definition für die Isolation in der Powerplane

Auch das benötigt jedoch Raum und muss bereits bei der Platzierung der Bauteile auf der virtuellen Layoutfläche berücksichtigt werden.

Kontaktierungsstrategie

Die Wahl der Kontaktierungsstrategie ist entscheidend für ein effektives Routing.

Dabei müssen die Anforderungen an die Entflechtung und an die Signal- und Powerintegrität einfließen.

Ein durchgehendes Via hat den Vorteil, daß ein Leiterbahnanschluß auf allen Ebenen möglich ist.

Auf den Lagen, auf denen keine Leiterbahn angeschlossen ist, ist der Raum für das Verlegen von Leiterbahnen jedoch blockiert. Wird

beispielsweise in einem 8-Lagen-Multilayer eine Verbindung von der Lage 1 auf die Lage 2 mit einem durchgehenden Via realisiert, dann ist auf den Lagen 3 - 8 der Platz für mindestens 3 Leitungen durch dieses Via blockiert. Dies kann gegebenenfalls dazu führen, daß mehr Lagen für die Entflechtung benötigt werden.

Theoretisch entsteht geradezu ein Teufelskreis, weil durch den fehlenden Raum eventuell mehr Leiterbahnen mit zusätzlichen Vias entflochten werden müssen, die ihrerseits wiederum mehr Platz blockieren.

Zusätzlich entsteht durch eine nicht genutzte Viahülse ein Stub, der in kritischen Anwendungen das Signalverhalten beeinflussen kann (Bild 13-6).

Das Routing mit sequentiellen Vias, also Blind- und Buried Vias, verteuert zwar die Produktionskosten der Leiterplatte, durch die Einsparung diverser Lagen kann dieser Nachteil aber oft mehr als wett gemacht werden, vom besseren Signalverhalten einmal ganz abgesehen.

Der Multicore-Aufbau eines Multilayers, das heißt der Zusammenbau eines Multilayers aus mehreren separaten Teil-Multilayern, ermöglicht die Entflechtung einzelner Bereiche in definierten Räumen, die dann wiederum an einigen wenigen Stellen über durchgehende Vias miteinander verbunden werden.

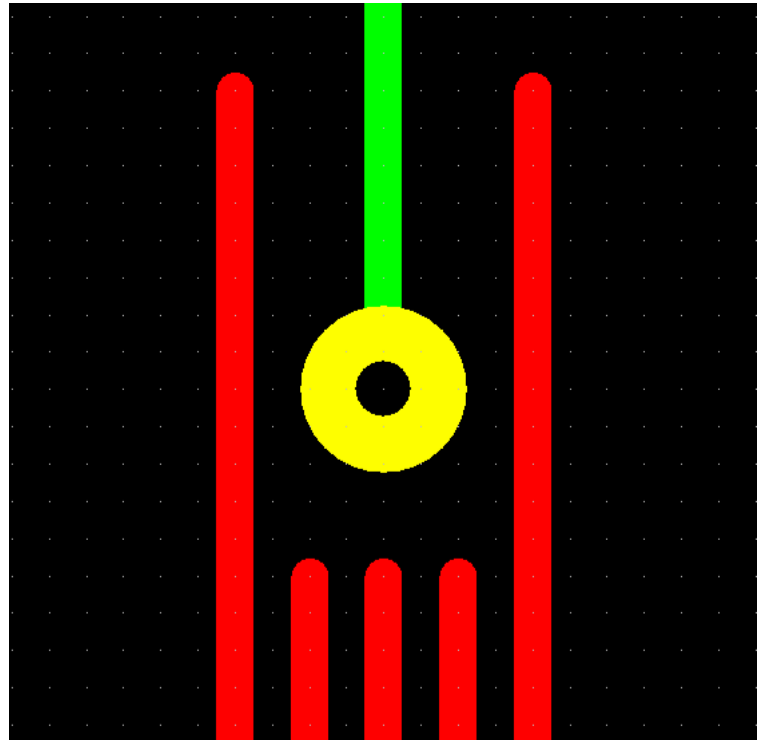


Bild 12-5 Raumbedarf eines Vias

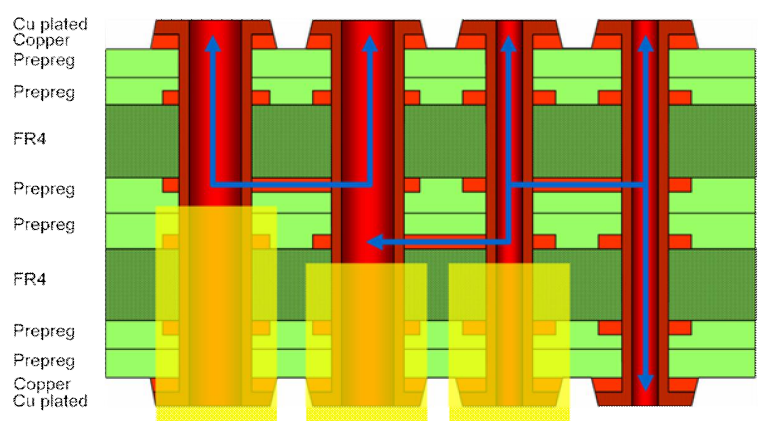


Bild 12-6 Blockierte Räume durch nicht genutzte Via-Stubs

Auf diese Weise werden Bereiche nicht nur routingtechnisch voneinander getrennt, denn unter Signalintegritätsaspekten wird die Schaltung dadurch auch optimiert.

Hinweis

Es gibt keine goldene Regel, die alle Probleme auf einen Schlag lösen kann.

Eine optimale Entflechtung ist immer von mehreren Faktoren abhängig. Die Erarbeitung einer geeigneten Strategie bleibt die Kernaufgabe des Designers und kann nicht an ein Softwareprogramm delegiert werden.

Optimale Ergebnisse sind immer das Resultat menschlicher Intelligenz, einer fundierten Aus- und Weiterbildung und nicht zuletzt wertvoller Berufserfahrung.

