Optimierung von Layouts mit TopoR

Von S. Luzin und O. Polubasov, FreestyleTeam, St.Petersburg, Russland

Das Programm TopoR (Topological Router) [1-3] dient zur Optimierung von Leiterplattenlayouts, die zuvor mit anderen Systemen in Formaten wie PCAD ASCII PCB, PADS ASCII PCB oder DSN erstellt wurden. Die in TopoR realisierten Algorithmen und Software-Tools ermöglichen eine besonders effektive Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Montage- und Entflechtungsfläche, was dem CAD-Programm TopoR einen wesentlichen Vorteil im Vergleich zu vergleichbaren Programmen verschafft.

Tools und Funktionen

Das Programm *TopoR* bietet dem Leiterplattenentwickler fünf verschiedene Tools an:

1. *Tool zur Einstellung des Entwicklungsstils*: Unter dem Entwicklungsstil wird eine Reihe von Festlegungen verstanden, die für die Anpassung des Systems *TopoR* an das CAD-Hauptsystem angenommen werden. Hier werden die Daten eingefügt, die nicht bzw. nicht komplett in der Ausgangsdatei (PDIF oder ASCII PCB) angegeben sind, z.B. Padform, Netz- und Bauteilklassen, Layoutregeln für jede einzelne Klasse (Leiterzugbreite und Abstände), Zuordnung der einzelnen Lagen, Rastermaß für die Bauelementplatzierung und andere.
2. *Tool der herkömmlichen Bearbeitung*: für das manuelle Verlegen von Leiterzügen und die Leitbildkorrektur. Es enthält folgende Operationen:
   - Verlegen und Bearbeitung von Leiterzügen
   - Fixierung der Bauelement- und Layoutelementpositionen
   - Bauelementverschiebung, -drehung und -spiegelung auf die andere Leiterplattenseite
   - Lagenänderung des Segmentes, Leiterzuges oder Netzes
   - Änderung der Segment-, Leiterzug- oder Netzdicke
   - Tauschen von funktionell äquivalenten Kontakten
3. *Tool der Bearbeitung im FreeStyle*: ein Werkzeug, das erlaubt, die Bauelemente und Durchkontaktierungen auf der Leiterplattenfläche manuell oder automatisch zu verschieben – unter Berücksichtigung von vorgegeben Abständen und ohne die Integrität von verlegten Netzen zu zerstören. Die optimale Leiterzugform wird dabei automatisch berechnet.
4. *Tool der Bauelementplatzierung auf der Leiterplatte*: erinnert sehr an ein gewöhnliches Layoutprogramm, unterscheidet sich aber von letzterem – erstens durch eine komfortable Kontrolle der von einem zu verschiebenden Bauelement beeinflussten Leiterzüge – und zweitens durch die Durchführbarkeit einer automatischen Platzierung und vorläufigen Leiterzugverlegung, wobei nach Vollzug der Bauelementverschiebung das komplette Leiterzugbild augenblicklich neu verlegt werden kann und dicht belegte Bereiche erkennbar sind. Weiterhin lässt sich die *reale* Leiterzuglänge einschätzen anstatt einer summarischen Luftlinienlänge, wie es bei den meisten konventionellen Programmen für die Bauelementplatzierung üblich ist. Es ist zu beachten, dass die bestehende Verlegung beim Wechseln in dieses Tool komplett gelöscht wird, damit das Routen neu durchgeführt werden kann.
5. *Tool der Layoutoptimierung*: zur Verbesserung der Qualität der Leiterzugverlegung. Diese Operation ist vollautomatisch und damit beschränkt sich die Aufgabe des Designers darauf, den Optimierungsprozess zu stoppen, wenn die gewünschte Qualität der Entflechtung erreicht ist bzw. keine Verbesserung mehr erreicht werden kann. Während dieses Prozesses produziert das Optimierungstool mehrere Layoutvarianten (meist 2 bis 6), die nach den verschiedenen Parametern optimiert sind – einige zum Beispiel nach der gesamten Leiterzuglänge, andere nach der Anzahl der Durchkontaktierungen. Der Nutzer kann eine von diesen Varianten auswählen. Die restlichen Varianten bleiben trotzdem im Hintergrund gespeichert, so dass man die Wahl jederzeit ändern kann.

Einfache Umschaltung zwischen den verschiedenen Tools und das Abspeichern einer aktuellen Variante in einem internen Format von *TopoR* oder im externen CAD-Format (PDIF oder ASCII PCB) ist sichergestellt.

Wesentliche Besonderheiten

Automatische flexible Leiterzugverlegung unter verschiedenen Winkeln (nicht nur 90° und 45°)

Die optimale Leiterzugform wird automatisch berechnet. Jeder Leiterzug hat die minimale Länge und wird um die Kontaktflächen in Kreisbögen unter Einhaltung der eingestellten Mindestabstände verlegt (*Abb. 1*).

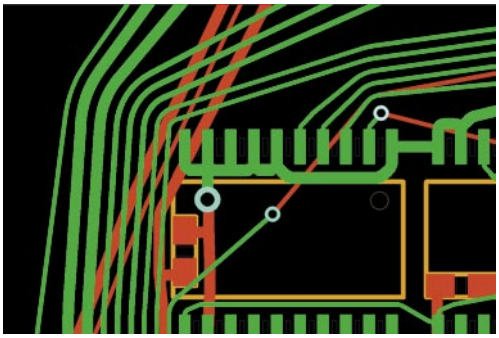

Abb. 1: Ausschnitt eines mit TopoR hergestellten Leiterplattenlayouts

100 %ige Leiterzugverlegung

Eine 100 %ige Entflechtung wird in Sekundenbruchteilen durchgeführt. Es werden alle Leiterzüge entflechtet, auch wenn einige technologische Beschränkungen dafür verletzt werden müssen (im nächsten Schritt werden diese möglichen Verletzungen automatisch beseitigt).

Die Entflechtungsqualität wird durch einen Optimierungsprozess verbessert. Jede während des Optimierungsprozesses gefundene Variante wird nach der Gesamtheit aller Parameter bewertet (gesamte Leiterzuglänge, Anzahl der Durchkontaktierungen, Anzahl der Technologieverletzungen, Anzahl der Leiterzugeinschnürungen, Anzahl der Leiterzugkreuzungen in verschiedenen Lagen usw.).

Im Unterschied zu den anderen Layoutprogrammen werden von *TopoR* gleich mehrere alternative Layoutvarianten parallel optimiert, die sich in den zu optimierenden Parameterwerten unterscheiden, so dass der Nutzer am Ende mehrere Layoutkonfigurationen zur Auswahl bekommt. Es gibt auch die Möglichkeit, mehrere automatisch gespeicherte Varianten (*Abb. 2*) einem Projekt hinzufügen.

Besonderheiten des Optimierungsprozesses

1. Da es sich um einen Mehrfach-Optimierungsprozess handelt und verschiedene Kriterien meist im Widerspruch zueinander stehen (z.B. erhöht sich bei der Reduzierung der Leiterzuggesamtlänge automatisch die Anzahl der Durchkontaktierungen), ist jeder Zyklus in zwei Schritte gegliedert: am Anfang des Zyklus wird vorrangig versucht, die gesamte Leiterzuglänge zu minimieren, und am Ende die Anzahl der Durchkontaktierungen zu reduzieren.
2. Die Gewichtskoeffizienten für jedes Kriterium ändern sich im Programm dynamisch, das heißt, wenn zum Beispiel Fehler (höchster Gewichtskoeffizient) beseitigt werden, dann ist die Wahrscheinlichkeit ihres Wiedererscheinens auf Grund ihrer hohen Priorität sehr gering.
3. In relativ einfachen Projekten findet das Programm schnell die optimale Variante (keine Fehler und minimale Anzahl der Durchkontaktierungen) und beginnt dann die gesamte Leiterzuglänge zu minimieren. In diesem Fall ist eine weitere Optimierung nicht nötig.

Individuelle Layoutregeln für Leiterzugabstände

Für jedes Netz können die minimal zulässigen und gewünschten Leiterabstände eingestellt werden.

	Name	Length of netlines, cm	Length, cm	Vias	Errors	Shrinkages	Elapsed	Round	mm / via
☐	558-75w.fab	432	558	75	0	5	0:36	2.1.51	
☑	559-74w.fab	432	559	74	0	5	0:26	1.3.17	7 (7/1)
☐	571-60w.fab	430	571	60	0	7	1:11	4.2.41	8 (117/14)
☑	573-59w.fab	435	573	53	0	6	1:02	4.2.39	24 (24/1)
☑	602-56w.fab	438	602	56	0	7	1:15	5.2.00	98 (293/3)

Abb. 2: Tabelle mit verschiedenen Layoutvarianten

Abb.3: Verkleinerung der Leiterzugbreite bei der Annäherung an ein Pad

Abb. 4: Tropfenförmige Glättung der Übergänge zwischen Leiterzügen und Durchkontaktierungen

Während der Layouterstellung versucht *TopoR,* die voreingestellte Leiterzugbreite und die Nennabstände zwischen den Leiterzügen zu erhalten. Wenn es nicht gelingt, die Nennabstände zu halten, reduziert das Programm diese bis zu den festgelegten Mindestabständen. Wenn es nicht möglich ist, die gewünschte Leiterzugbreite einzuhalten, wird die Breite verringert, in dem der kleinste Wert aus der Tabelle der vordefinierten Layoutregeln genommen wird. Außerdem verringert das Programm die Breite des Leiters (*Abb. 3*) automatisch, wenn dieser an ein Pad mit einer geringeren Breite heranführt (oder der Kontaktdurchmesser kleiner als die Leiterzugbreite ist), und wenn ein Leiterzug durch enge Stellen (z.B. zwischen den Pads eines Bauelementes) verlegt wird.

TopoR führt eine tropfenförmige Glättung (teardrops) der Übergänge zwischen den Leiterzügen und Durchkontaktierungen durch (*Abb. 4*).

Automatische Bauelementplatzierung

Die automatische Bauelementplatzierung ist unter anderem auch in einem ausgewählten Fenster möglich (*Abb. 5*). Die automatische Platzierung erfolgt iterativ. Der Platzierungsprozess läuft solange, bis er manuell vom Nutzer angehalten wird. Während der Optimierung der Bauelementplatzierung hat der

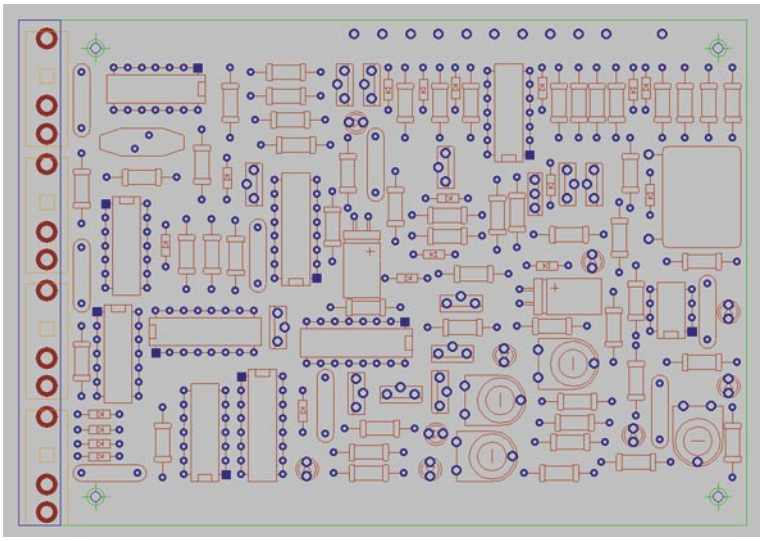

Abb. 5: Endergebnis der automatischen Bauelementplatzierung

Nutzer die Möglichkeit, die beste Variante (nach der gesamten Leiterzuglänge) zu sehen. Wenn der Nutzer mit dem vorläufigen Ergebnis zufrieden ist, kann er den Platzierungsprozess anhalten und zu den weiteren Schritten übergehen.

Das Programm der automatischen Platzierung erlaubt, schnell eine annehmbare Variante der Bauelementposition zueinander zu finden. Allerdings garantiert es nicht die Einhaltung der konstruktiven und technologischen Einschränkungen. Deshalb müssen die Leiterplatten mit einer hohen Platzierungsdichte manchmal manuell nachgearbeitet werden, um einige Fehlstellen zu entfernen (z.B. enge Stellen und Überschneidungen der Bauelementkonturen).

Verschiebung einzelner Elemente

TopoR ermöglicht es, die Bauelemente in einem Leiterplattenlayout bei Erhaltung der Integrität von Leiterzügen und unter Berücksichtigung der vorgegeben Abstände zu verschieben. Die Verschiebung von Bauelementen, Durchkontaktierungen und einzelnen Leiterzugzweigen wird angewendet, um die Leiterzuglänge zu verringern, vorgegebene Abstände sicherzustellen (Eliminierung von engen Stellen) und auch die Bestückungsfläche einer Leiterplatte zu reduzieren,. Die Verschiebung kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen. Die Lage von Leiterzügen wird dabei sofort automatisch umgerechnet. Die Positionen der Abzweigknoten und der Durchkontaktierungen werden bei einer automatischen Verschiebung optimiert (*Abb. 6*).

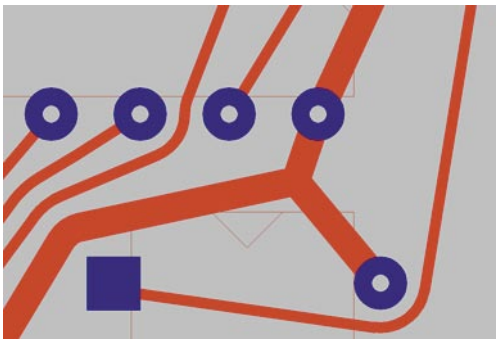

Abb. 6: Optimale Lage der Abzweigknoten und der Durchkontaktierungen bei der automatischen Verschiebung

Möglichst wenig Durchkontaktierungen

TopoR liefert im Rahmen des gefundenen Layouts eine minimale Anzahl von Durchkontaktierungen. Das erlaubt unter anderem eine erfolgreiche Leiterzugverlegung auf einseitigen Leiterplatten, bei deren Entflechtung *TopoR* entweder eine einseitige Verlegungsvariante oder eine Variante mit einer minimalen Verbindungsgliederanzahl findet (*Abb. 7*).

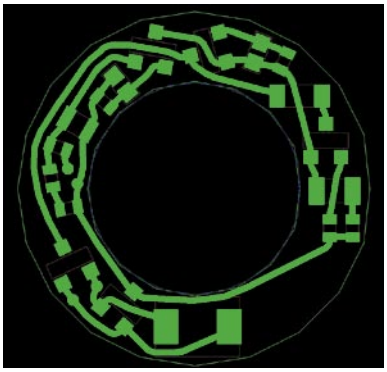

Abb. 7: Layout einer einseitigen Leiteplatte

Tauschen von funktionell äquivalenten IC-Kontakten

TopoR ermöglicht das automatische und manuelle Umbelegen von funktionell äquivalenten Kontakten einer integrierten Schaltung. Dieser Tausch erfolgt im Tool der Bauelementplatzierung bei der Ausführung der in Punkt 4 genannten vorläufigen Leiterzugverlegung. Wenn in der Parametereinstellung die Anwendung der funktionellen Äquivalenz aktiviert ist, werden sich kreuzende Leiterzüge, die an die äquivalenten Kontakten angeschlossen sind, umgetauscht (*Abb. 8*).

Im Tool des manuellen Umbelegens werden die Kontakte, die zu den verschiedenen Klassen der funktionellen Äquivalenz gehören, farbig hervorgehoben. Die Farben werden dabei automatisch aus einer vordefinierten Farbenreihe (5 bis 10 verschiedene Farben) ausgewählt und zugeordnet. Zusätzlich zur Farbmarkierung werden den verschiedenen Klassen auch die Buchstaben (A-Z, a-z) zugeordnet. Beim ersten Klick mit der linken Maustaste wird ein Kontakt ausgewählt und der zweite Klick führt zum Tausch des Kontaktpaares. Die Kontakte erhalten neue Netznummern und die Leiterzüge, die

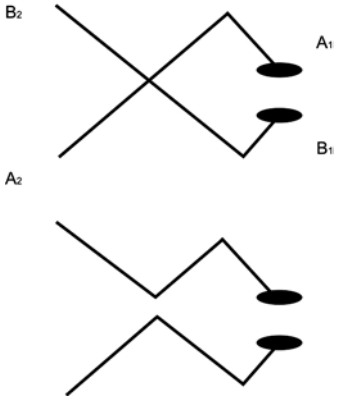

Abb. 8: Tausch von sich kreuzenden Leiterzügen, die an äquivalenten Kontakten angeschlossen sind

an diesen Kontakten angeschlossen sind, werden umverlegt.

Automatische Überwachung der Constraints

TopoR stellt eine automatische Überwachung der konstruktiven und technologischen Einschränkungen während der Layouterstellung und während der Bearbeitung des Leiterplattenlayouts (online DRC) sowie die Überprüfung der Ausgangsdatei (DRC) sicher. Das Programm erlaubt eine problemlose Weiterverarbeitung ohne wesentliche Verluste im Fall eines Systemabsturzes oder Ausfalls der Stromversorgung.

Permanente Weiterentwicklung

TopoR entwickelt sich dynamisch mit jeder neuen Version. Eine der neuen Funktionen ist z.B. eine spezielle Layouterstellung für BGA-Bauelemente, die problemlos funktioniert (*Abb. 9*).

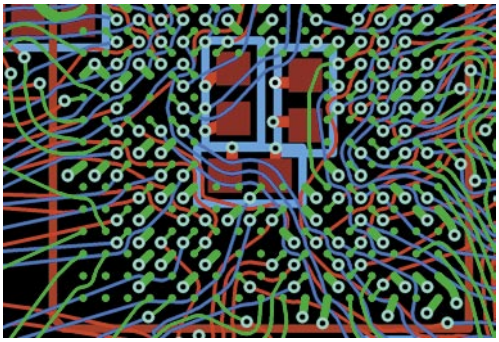

Abb. 9: Spezielle Layouterstellung von einem BGA-Bauelement in TopoR

Leistungsfähigkeit

In *Tab. 1* sind die Merkmale von drei Leiterplatten zusammengefasst, die zuvor mit drei anderen Leiterplatten-CAD-Programmen entworfen wurden und danach mit dem CAD-Programm *TopoR* unter Vorgabe der gleichen Projektbedingungen nachbearbeitet wurden.

Hinweis

Eine ausführliche Dokumentation und eine auf 125 Netze und 8 Layer beschränkte Programmversion *TopoR Lite* (auch in englischer Sprache) stehen unter *www.freestyleteam.com* zum kostenlosen Download bereit.

Literatur

[1] S.J. Luzin, O.B. Polubasov: „Topologisches Routing – Realität oder Mythos?“, *CHIP NEWS* **68 Nr. 5** (2002) S. 42-46

[2] S.J. Luzin, J.T. Ljachek, O.B. Polubasov: „Automatisierung des Leiterplattendesigns. System des topologischen Routings – TopoR“, Verlag SPbGETU „LETI“, 2005, S.164

[3] S.J. Luzin, O.B. Polubasov: „Topologischer Leiterplattenrouter TopoR“, *Elektronische Komponenten*, **Nr. 11** (2005), S.59-62

Kontaktadresse

FreestyleTeam, 198905, Russland, St. Petersburg, ul. Ivana Chernych, 29A, Tel. 007/812/448-0444, luzin@freestyleteam.com, www.freestyle-team.com

Tab. 1: Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Layoutprogramme

	Layout 1		*Layout 2*		*Layout 3*	
	TopoR	*Programm1*	*TopoR*	*Programm2*	*TopoR*	*Programm3*
Netze		548		1095		891
Bauelemente		253		1131		571
Kontakte		2588		5708		5050
Durchkontaktierungen	1114	2014	2832	3932	1800	3301
Lagen	2	8	4	4	4	4
Leiterzuglänge [m]	47	48	73	86	83	97