

Diagnose realistischer Defekte mit Hilfe des X-Fehlermodells

Ilia Polian* Yusuke Nakamura** Piet Engelke* Stefan Hillebrecht*
Kohei Miyase** Seiji Kajihara** Bernd Becker* Xiaoqing Wen**

*Institut für Informatik, Universität Freiburg, Georges-Köhler-Allee 51, 79110 Freiburg

**Faculty of CS and Systems Eng., Kyushu Institute of Technology, Iizuka-shi, 820-8502, Japan

Kurzfassung

Für heutige Diagnoseverfahren stellen Nichtstandarddefekte eine Herausforderung dar. Wir untersuchen die Leistungsfähigkeit der vor kurzem vorgestellten X-Fehlerdiagnose für zwei hochkomplexe Defektklassen. Simulationsexperimente zeigen die Überlegenheit der X-Fehlerdiagnose gegenüber den traditionellen Methoden.

1 Einführung

Automatische Defektdiagnose ist eine zentrale Komponente im Rahmen einer fertigungsgerechten Entwurfsstrategie (Design-for-Manufacturing DFM) [1]. Die meisten Methoden basieren auf der Annahme, dass Defekte sich als stuck-at-Fehler auswirken. Diagnose mit Hilfe des X-Fehlermodells [2] verbindet die Effizienz der stuck-at-basierten Techniken mit exzellenter diagnostischer Auflösung und benötigt keine Modellierung auf der elektrischen Ebene. Mögliches Defektverhalten wird durch Logikwerte repräsentiert, und die Simulation wird mit symbolischen Methoden durchgeführt.

In diesem Artikel untersuchen wir die Leistungsfähigkeit der X-Fehlerdiagnose für schwer diagnostizierbare Defektklassen. Wir injizieren resistive Kurzschlussdefekte [3] und Unterbrechungsdefekte auf den Interconnects (Interconnect Opens) [4] in Benchmark-Schaltungen, bestimmen die Testantworten mit Hilfe der Simulatoren aus [5,6], wenden die Diagnoseprozedur an und bewerten, ob der eingesetzte Defekt identifiziert werden konnte.

2 Ergebnisse

Die Qualität einer Diagnoseprozedur wird an ihrer Fähigkeit, Defektorte in ISCAS-85- und kombinatorischen Kernen der ISCAS-89-Schaltkreise zu finden, gemessen. X-Fehlerdiagnose erzeugt eine Liste von alternativen Lösungen (Multipletts), die nach einer *Bewertungszahl* sortiert ist. Zur Bewertung der Diagnosequalität wird die *Position* (Rank) der korrekten Lösung, also des Multipletts, welches den tatsächlichen Fehlerort enthält, herangezogen.

Diagnoseergebnisse für 100 resistive Kurzschlüsse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die an den Kurzschlüssen beteiligten Leitungen und der Kurzschlusswiderstand R_{sh} wurden zufällig ausgewählt. Die ausgewählten Defekte wurden für single-stuck-at-Testmuster mit dem Simulator

aus [5] unter Annahme der 0,35 μm -Technologieparameter von austriamicrosystems simuliert. Die Schaltkreisantworten wurden als Surrogat der am Testgerät beobachteten Testantworten an die X-Fehlerdiagnoseroutine übergeben.

Die durchschnittliche Anzahl der Multipletts, also der alternativen Diagnosevorschläge, ist in Spalte 2 der Tabelle 1 enthalten. Spalte 3 gibt die Anzahl der Fehler an, für die eine Übereinstimmung vorliegt, für die also mindestens eine kurzgeschlossene Leitung in mindestens einem Multiplett enthalten war. Spalte 4 beinhaltet die mittlere Position des ersten übereinstimmenden Multipletts in der sortierten Liste. Da einige Multipletts die gleiche Bewertungszahl haben können, ist die mittlere Anzahl der Multipletts mit der identischen Bewertungszahl in Spalte 5 („id“) enthalten. Die letzten beiden Spalten enthalten die Anzahl der Fehler, für die eine Übereinstimmung mit einem der ersten 5 bzw. 10 Multipletts der Liste vorliegt.

Man sieht, dass resistive Brückenfehler in der Tat eine große Herausforderung für den Diagnosealgorithmus darstellen. Die Anzahl der generierten Multipletts und die Position sind größer als in früheren Arbeiten, die andere Fehlermodelle betrachtet hatten [2]. Dies gilt vor allem für ISCAS-85-Schaltkreise mit ihrer komplexen Struktur, einer großen Anzahl Pfade und vielen Rekonvergenzen.

Das gleiche Experiment wurde unter Verwendung der selben Testmuster für die stuck-at-Fehlerdiagnose wieder-

Tabelle 1: X-Fehlerdiagnose für 100 resistive Kurzschlussdefekte

Schaltk.	Multipletts	Über	Pos.	id	≤ 5	≤ 10
c5315	350,42	95	19,68	4,88	56	61
c6288	568,93	98	23,52	1,17	32	47
c7552	630,37	95	19,82	5,63	45	54
cs15850	94,60	97	4,21	13,07	82	90
cs38417	121,18	100	4,99	3,88	80	90
cs38584	44,23	100	2,77	2,75	89	97

Tabelle 2: Vergleich von X-Fehler- und stuck-at-Fehlerdiagnose für resistive Kurzschlussdefekte

Schaltk.	Über	Position		≤ 5		≤ 10	
		X	s@	X	s@	X	s@
c5313	88	20,40	104,41	54	38	58	46
c6288	98	23,52	43,94	32	34	47	49
c7552	93	20,22	510,88	43	34	52	40
cs15850	92	4,00	5,72	80	79	86	86
cs38417	90	5,43	15,77	70	63	80	78
cs38584	90	2,73	4,71	88	72	95	87

holt. Um einen fairen Vergleich der X-Fehlerdiagnose mit der stuck-at-Fehlerdiagnose zu ermöglichen, wurden ausschließlich Fehler berücksichtigt, für welche die beiden Verfahren jeweils mindestens eine Übereinstimmung gefunden haben. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse zusammen. Die Anzahl der betrachteten Fehler steht in Spalte 2. Die durchschnittliche Position und die Anzahl der Fehler, welche mit einem der Top-5- bzw. Top-10-Multiplets übereinstimmen, sind für die X-Fehlerdiagnose (mit „X“ bezeichnet) durchgehend besser als für die stuck-at-Fehlerdiagnose (mit „s@“ bezeichnet).

X-Fehlerdiagnose und stuck-at-Fehlerdiagnose wurden auf 101 Unterbrechungsdefekte im ISCAS-85-Schaltkreis c3540 angewendet. Das Vorgehen entsprach dem für resistive Kurzschlussdefekte. Für die Simulation wurde das Werkzeug aus [6] eingesetzt, welches auf dem Modell aus [4] basiert. Die Layouts der Schaltkreise wurden erstellt, und die für die Simulation der Unterbrechungsdefekte benötigten parasitären Kapazitäten wurden mit Hilfe des in [7] beschriebenen Verfahrens extrahiert.

Erste Ergebnisse sind in Tabelle 3 enthalten. Obwohl X-Fehlerdiagnose besser als die stuck-at-Fehlerdiagnose abschneidet, bleibt die durchschnittlich erreichte Position grundsätzlich hinter den Erwartungen zurück. Eine neuere Erweiterung der X-Fehlerdiagnose [8] verbessert die Diagnosequalität, indem die genaue Topologie des betroffenen Interconnects berücksichtigt wird. Für die Zukunft planen wir deshalb die Überführung dieser Daten aus dem Schaltkreis-Layout an die Diagnoseprozedur. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus [8] (für ein einfacheres Unterbrechungs-Defektmodell) erwarten wir eine Verbesserung der Position um ca. Faktor 2.

3 Zusammenfassung

X-Fehlerdiagnose ist ein Ansatz auf der Gatterebene, welcher von elektrischen Informationen abstrahiert. Wir haben gezeigt, dass trotzdem gute Ergebnisse für Defektklassen mit hochgradig nichttrivialelektrischem Verhalten erzielt werden. Das Verfahren ist der stuck-at-Fehlerdiagnose beständig überlegen. Auch wenn die absolute Leistungsfähigkeit, insbesondere die durchschnittliche Position, oftmals schlechter ist als typische Ergebnisse für Diagnose einfacherer Defekte, z.B. der stuck-at-Fehler, muss grundsätzlich berücksichtigt werden, dass die betrachteten Defekttypen generell schwierig zu diagnosti-

Tabelle 3: Vergleich der X-Fehlerdiagnose und der stuck-at-Fehlerdiagnose für 101 Unterbrechungsdefekte auf Interconnects für Schaltkreis c3540

Methode	Multiplets	Über	Pos.	id	≤ 5	≤ 10
X-fault	31,03	99	8,00	2,16	67	81
stuck-at	498,45	70	9,13	4,24	46	53

zieren sind. Außerdem stellen solche Defekte nur einen Teil der gesamten Defektpopulation dar. In Realität wird die Anwesenheit einer großen Anzahl leicht diagnostizierbarer Defekte die durchschnittliche Position verbessern. Nichtsdestotrotz ist die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Diagnosemethoden für schwer diagnostizierbare Defekte nach wie vor wünschenswert.

Einen möglichen künftigen Forschungsansatz stellt die Einbringung elektrischer Informationen von unteren Entwurfsebenen in die diagnostische Methode dar. Die Berücksichtigung der Interconnect-Topologie ist ein erster Schritt in diese Richtung. Eine solche Integration sollte allerdings nicht zu Einbußen bei der Skalierbarkeit führen, und die benötigten Daten sollten mit überschaubarem Aufwand zu gewinnen sein. Die Wechselwirkung zwischen der Genauigkeit der Diagnose und ihrer durch die Berücksichtigung elektrischer Informationen gestiegenen Komplexität sollte besser verstanden werden, um in einer gegebenen Umgebung den optimalen Ansatz auszuwählen. Die Anwendung der Methode auf große industrielle Schaltungen mit Besonderheiten wie Tri-State-Busse ist ein weiteres Feld, in dem Forschung notwendig ist.

Danksagung

Teile dieser Arbeit werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt (Projekt BE 1176/14-1.)

4 Literatur

- [1] H. Tang, S. Manish, J. Rajsiki, M. Keim, and B. Benware. Analyzing volume diagnosis results with statistical learning for yield improvement. In *European Test Symp. 2007*, pages 145–150, 2007.
- [2] X. Wen, T. Miyoshi, S. Kajihara, L.-T. Wang, K.K. Saluja, and K. Kinoshita. On per-test fault diagnosis using the X-fault model. In *Int'l Conf. on CAD*, pages 633–640, 2004.
- [3] M. Renovell, P. Huc, and Y. Bertrand. CMOS bridge fault modeling. In *VLSI Test Symp.*, pages 392–397, 1994.
- [4] Y. Sato, I. Yamazaki, H. Yamanaka, T. Ikeda, and M. Takakura. A persistent diagnostic technique for unstable defects. In *Int'l Test Conf.*, pages 242–249, 2002.
- [5] P. Engelke, I. Polian, M. Renovell, and B. Becker. Simulating resistive bridging and stuck-at faults. *IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 25(10):2181–2192, Oct. 2006.
- [6] S. Hillebrecht, I. Polian, P. Engelke, B. Becker, M. Keim, and W.-T. Cheng. Extraction, simulation and test generation for interconnect open defects based on enhanced aggressor-victim model. In *Int'l Test Conf.*, 2008. In press.
- [7] S. Spinner, J. Jiang, I. Polian, P. Engelke, and B. Becker. Simulating open-via defects. In *Asian Test Symp.*, pages 265–270, 2007.
- [8] X. Wen, Y. Yamato, K. Miyase, S. Kajihara, H. Furukawa, L.-T. Wang, K.K. Saluja, and K. Kinoshita. An improved method of per-test X-fault diagnosis for deep-submicron LSI circuits. In *Workshop on RTL and High Level Testing*, pages 55–60, 2006.