

บทที่ 3

การเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดที่จำเป็น

บทนี้เสนอแนวความคิดในการเรียนรู้เพื่อเตรียมรายการข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการกำหนดค่าที่จำเป็นและระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้บางจุดก่อนทำการให้กำเนิดรูปแบบสัญญาณทดสอบ โดยการเรียนรู้ดังกล่าวอาศัยทฤษฎีกลุ่ม กฎคอนทราพอสซิทีฟ รวมทั้งความสัมพันธ์ในการกำหนดค่าขัดแย้งเป็นหลัก

3.1 สัญลักษณ์และกฎที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้

3.1.1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง

ก) N/v หรือ $[N/v]$

แทนคู่ลำดับโหนด (N) และค่าตรรก (v) ของโหนดนั้น โดยที่ $v \in \{0,1\}$ ซึ่งอาจจะเป็นการกำหนดค่าให้โหนด N มีค่าตรรก v หรือผลจากการแพร่ค่าตรรกแล้วทำให้โหนด N มีค่าตรรกเท่ากับ v

ข) N/v' หรือ $[N/v']$

แทนการที่ไม่สามารถกำหนดให้โหนด N มีค่าตรรก v ได้ ซึ่งจะนำไปใช้สำหรับการระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ต่อไป

ค) $impl(N/v)$

แทนกลุ่มของโหนดที่ได้รับอิทธิพลจากการแพร่ N/v ไปข้างหน้า ซึ่งจะนำสมาชิกแต่ละตัวภายในกลุ่มนี้ไปสร้างรายการข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นต่อไป

ง) $nec_ass(N/v)$

แทนกลุ่มของค่าข้อมูล(โหนด/ค่าตรรก) สำหรับการกำหนดที่จำเป็นของ N/v

3.1.2 กฎคอนทราพอสซิทีฟ

$$\text{ถ้า } N/v \Rightarrow M/w \text{ แล้ว } M/\bar{w} \Rightarrow N/\bar{v} \quad (3.1)$$

กฎนี้มีความสำคัญมากในการเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็น เช่น ถ้ากำหนด $A/0$ แล้วมีผลทำให้ได้ $F/0$ แสดงว่าถ้าต้องการ $F/1$ มีความจำเป็นต้องกำหนด $A/1$

หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่ง คือ $A/1$ คือค่าข้อมูลสำหรับการกำหนดที่จำเป็นของ $F/1$ ดังนั้นที่โหนด F จำเป็นต้องเก็บข้อมูลส่วนนี้ไว้สำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นต่อไป

3.1.3 กฎการกำหนดค่าขัดแย้ง

$$\text{ถ้า } N/v \Rightarrow M/w \text{ และ } N/\bar{v} \Rightarrow M/w \text{ แล้ว } M/w \quad \text{หรือ} \quad (3.2)$$

$$\text{ถ้า } N/v \Rightarrow M/w \text{ และ } N/\bar{v} \Rightarrow M/w \text{ แล้ว } M/(\overline{w}) \quad (3.3)$$

ถ้าการกำหนดค่าไม่ว่าจะเป็น N/v หรือ $N/\bar{v}$ แล้วทำให้ได้ M/w เหมือนกัน แสดงว่าโหนด M มีค่าคงที่เป็น w หรือไม่สามารถกำหนดให้มีค่าตรรกเป็น $\bar{w}$ ได้ $M/(\overline{w})$ นั่นเอง เมื่อไม่สามารถกำหนดค่าตรรกบางค่าให้กับโหนดบางโหนดได้อาจจะทำให้ไม่สามารถให้กำเนิดรูปแบบสัญญาณทดสอบได้ถ้าหากโหนดและค่าตรรกนั้นจำเป็นสำหรับการกระตุ้นหรือการแพร่ผลของจุดเสีย จึงนำรายการโหนดที่ไม่สามารถกำหนดค่าตรรกได้ไปใช้สำหรับระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้บางส่วนก่อนการให้กำเนิดรูปแบบสัญญาณทดสอบ

3.2 การเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็น

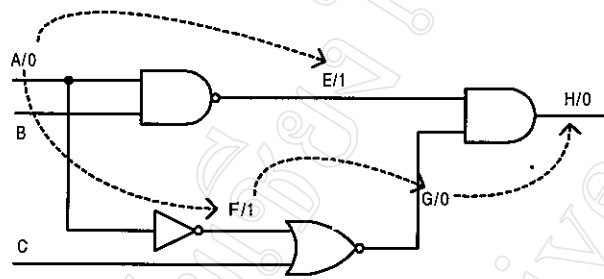
ความขัดแย้งในการกำหนดค่าซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการทำงานแบบย้อนรอนั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะในวงจรที่มีโหนดแฟนเอาต์ และเกิดบริเวณโหนดแฟนเอาต์หรือโหนดที่มีความสัมพันธ์ทางตรรกกับโหนดแฟนเอาต์เท่านั้น การกำหนดค่าที่จำเป็นก็เช่นเดียวกันจะทำการกำหนดค่าที่จำเป็นเฉพาะโหนดที่มีความสัมพันธ์ทางตรรกกันเท่านั้น ซึ่งโหนดที่สัมพันธ์กันนั้นย่อมมีความสัมพันธ์กับโหนดแฟนเอาต์ด้วย การเรียนรู้จึงทำเฉพาะโหนดที่มีความสัมพันธ์ทางตรรกกับโหนดแฟนเอาต์เท่านั้น

ขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1) สำหรับแฟนเอาต์ทุกโหนดที่มีเกต OR NOR AND NAND หรือเกต NOT ที่ตามด้วยเกต OR NOR AND หรือ NAND ทำการกำหนดค่าตรรกที่เป็นค่าควบคุมของเกตที่ต่ออยู่นั้นให้กับโหนดแฟนเอาต์ แล้วแพร่ค่าตรรกไปข้างหน้า นำโหนดต่าง ๆ และค่าตรรกที่ได้รับผลจากการแพร่ค่าตรรกดังกล่าวเข้าเป็นสมาชิกของกลุ่ม $impl(Fan-out / ControllingValue)$ ดังตัวอย่างวงจรในภาพที่ 3.1 แฟนเอาต์โหนด A มีเกต AND และ NOT ที่ตามด้วยเกต NOR ค่าควบคุมของ

เกต AND หรือค่าควบคุมของเกต NOR ที่ต้องผ่านเกต NOT คือ “0” ดังนั้นจึงกำหนดค่าตรรก “0” ให้โหนดแก่ A แล้วทำการแพร่ค่าไปข้างหน้า จะได้ $impl(A/0)$ ดัง (3.4)

$$impl(A/0) = \{A/0, E/1, F/1, G/0, H/0\} \quad (3.4)$$



ภาพที่ 3.1 การแพร่ค่า A/0 ไปข้างหน้าเพื่อหา $impl(A/0)$

ขั้นตอนที่ 2) นำสมาชิกใน $impl(Fan-out/ControllingValue)$ แต่ละตัวเข้ากฎคอนทราพอสซิทีฟ ได้ผลลัพธ์เป็นกลุ่ม $nec_ass(M/\bar{w})$ ต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ทางตรรกกับโหนดแฟนเอาต์ ดังนั้นเมื่อนำสมาชิกแต่ละตัวใน $impl(A/0)$ เข้ากฎคอนทราพอสซิทีฟ จะได้

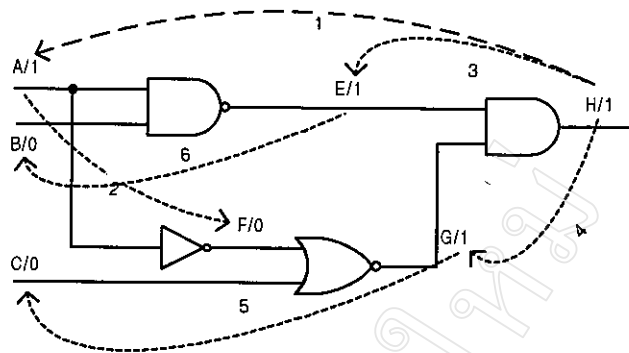
$$nec_ass(E/0) = \{A/1\} \quad (3.5)$$

$$nec_ass(F/0) = \{A/1\} \quad (3.6)$$

$$nec_ass(G/1) = \{A/1\} \quad (3.7)$$

$$nec_ass(H/1) = \{A/1\} \quad (3.8)$$

กลุ่ม $nec_ass(M/\bar{w})$ ที่ได้เหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นในการแพร่ค่าตรรกไปข้างหลังของแต่ละโหนด เช่น จากวงจรตัวอย่างในภาพที่ 3.1 หากต้องการกำหนด H/1 ข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นได้แก่ A/1 ดัง (3.8) จึงกำหนด A/1 และแพร่ค่าตรรกไปข้างหน้าได้ F/0 ดังภาพที่ 3.2 จากนั้นทำการแพร่ค่าตรรกต่อจะได้ E/1 G/1 B/0 และ C/0 จะเห็นว่าไม่มีความขัดแย้งในการกำหนดค่าเกิดขึ้น ไม่ต้องมีการทำงานแบบย้อนรอย

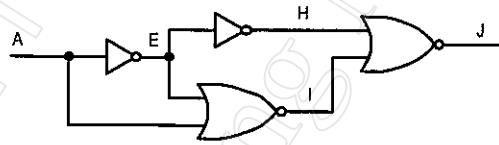


ภาพที่ 3.2 การแพร่ค่าตรรกะไปข้างหลังด้วยการใช้การกำหนดค่าที่จำเป็น

ขั้นตอนที่ 3) ขณะเข้ากฎคอนทราพอสซิติฟ หากพบว่าสมาชิกของ $nec_ass(M/w)$ มีค่าสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นขัดแย้งกันอยู่ แสดงว่าโหนดนั้นไม่สามารถกำหนดให้มีค่าตรรกะเป็น w ได้ ดังตัวอย่างวงจรในภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจร C6288.BENCH เมื่อทำการเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็น ด้วยการแพร่ค่า A/0 และ A/1 ไปข้างหน้า จะได้

$$impl(A/0) = \{A/0, I/0\} \quad (3.9)$$

$$impl(A/1) = \{A/1, I/0\} \quad (3.10)$$



ภาพที่ 3.3 ส่วนหนึ่งของวงจร C6288.BENCH [26]

จาก (3.9) และ (3.10) เข้ากฎคอนทราพอสซิติฟ ได้

$$nec_ass(I/1) = \{A/1, A/0\} \quad (3.11)$$

จะพบว่าเกิดความขัดแย้งในการกำหนดค่าตรรกะ ไม่สามารถกำหนด I/1 ได้เพราะค่าสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นขัดแย้งกัน คือต้องการทั้ง A/0 และ A/1 จึงเก็บ I/1' เข้ากลุ่มของ

โหนดที่ไม่สามารถควบคุมค่าตรรกได้ (*Uncontrollable*) ดัง (3.12) จะถูกนำมาใช้สำหรับการระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ต่อไป

$$Uncontrollable = Uncontrollable \cup \{I/1'\} \quad (3.12)$$

3.3 การเรียนรู้เพื่อระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้

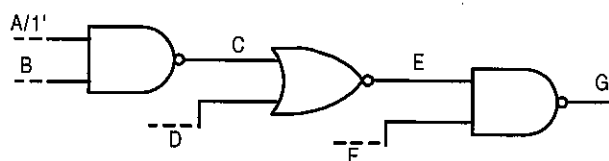
ถ้า N/v คือ เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบจุดเสียแล้วไม่สามารถกำหนดให้โหนด N มีค่าตรรก v ได้ (N/v') แสดงว่าจุดเสียนั้นไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ จุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้เนื่องจาก N/v' จะมีด้วยกัน 2 กลุ่ม คือ จุดเสียที่จำเป็นต้องใช้ N/v สำหรับการกระตุ้นจุดเสียให้มีตรรกตรงข้ามกันระหว่างวงจรดีและวงจรเสีย และจุดเสียที่จำเป็นต้องใช้ N/v สำหรับการแพร่ผลของจุดเสียเพื่อให้ไปปรากฏที่ขั้วเอาต์พุตหลักของวงจร [6] จึงนำสมาชิกในกลุ่มของโหนดที่ไม่สามารถควบคุมค่าตรรกซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 3 ของการเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็นมาใช้ในการระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้

ก) จุดเสียที่ต้องการ N/v สำหรับการกระตุ้นให้มีค่าตรรกตรงข้ามกับค่าที่เกิดจากจุดเสีย

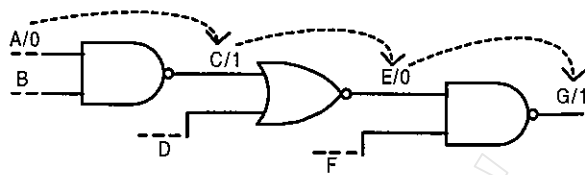
หาก N/v' เป็นสมาชิกในกลุ่มของโหนดที่ไม่สามารถควบคุมค่าตรรกได้ จุดเสียกลุ่มแรกที่ไม่สามารถตรวจสอบได้คือจุดเสียที่ต้องการ N/v สำหรับการกระตุ้นจุดเสียให้มีค่าตรรกตรงข้ามกับค่าที่เกิดจากจุดเสีย

วิธีหาจุดเสียนี้คือทำการแพร่ค่า $N/\bar{v}$ ไปข้างหน้าเหมือนกับขั้นตอนที่ 1 ของการเรียนรู้เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่าที่จำเป็น แล้วตรวจสอบโหนดที่ได้รับผลกระทบจากการแพร่ค่า $N/\bar{v}$ ไปข้างหน้า ถ้าโหนดใดมีค่าเป็น w (หรือ $\bar{w}$) แสดงว่าจุดเสีย $s-a-w$ (หรือ $s-a-\bar{w}$) ของโหนดนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

ตัวอย่างจากวงจรในภาพที่ 3.4 หากไม่สามารถกำหนดให้โหนด A มีค่าตรรกเป็น “1” ได้ ($A/1'$) สามารถระบุจุดเสียที่ไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจาก $A/1'$ ด้วยการแพร่ $A/0$ ไปข้างหน้าดังภาพที่ 3.5 ได้ผลลัพธ์ดัง (3.13)



ภาพที่ 3.4 วงจรตัวอย่างที่ไม่สามารถกำหนดให้โหนด A มีค่าตรรกเป็น “1” ได้ ($A/1'$)



ภาพที่ 3.5 การแพร่ A/0 เพื่อหาจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้เนื่องจาก A/1'

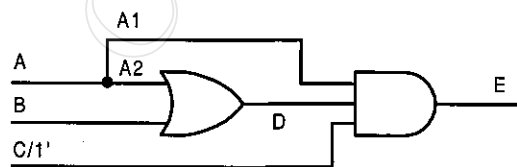
$$\text{impl}(A/1') = \text{impl}(A/0) = \{A/0, C/0, E/1, F/1\} \quad (3.13)$$

ดังนั้นจุดเสีย A/s-a-0 C/s-a-1 E/s-a-0 และ G/s-a-1 ไม่สามารถตรวจสอบได้เนื่องจากทั้ง 4 จุดเสียต้องการ A/1 เป็นค่าที่จำเป็นสำหรับการกระตุ้นจุดเสียให้มีค่าตรรกตรงข้าม

ข) จุดเสียที่ต้องการ N/v สำหรับการแพร่ค่าผลของจุดเสีย

ในการระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้เพราะต้องการ N/v สำหรับการกระตุ้นจุดเสียให้มีค่าตรรกตรงข้ามแล้วจะได้กลุ่ม $\text{impl}(N/v)$ หาก M/w เป็นสมาชิกของกลุ่มดังกล่าวนี้ และ w เป็นตรรกควบคุมของเกตที่มี M เป็นขั้วอินพุต จุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้อีกกลุ่มหนึ่งคือ กลุ่มจุดเสียที่ต้องการ $M/\bar{w}$ สำหรับการแพร่ค่าผลของจุดเสีย นั่นคือจุดเสียทุกจุดที่ต้องแพร่ผ่านขั้วอินพุตของเกตที่มีขั้วอินพุต M ทุกขั้วยกเว้นขั้ว M จะไม่สามารถตรวจสอบได้

วิธีหาจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ในกลุ่มนี้คือตรวจสอบสมาชิกของ $\text{impl}(N/v)$ ที่ได้จากการระบุจุดเสียที่ต้องการ N/v สำหรับการกระตุ้นให้มีค่าตรรกตรงข้ามกับจุดเสีย หากสมาชิก M/w ใด ๆ ที่ w เป็นค่าตรรกควบคุม ทำการระบุจุดเสียด้วยวิธีการค้นหาข้อมูลในกราฟ โดยเริ่มที่ขั้วอินพุตแต่ละขั้วของเกตดังกล่าวค้นหาย้อนกลับไปทางขั้วอินพุตหลักของวงจร ระบุไปจนกระทั่งพบโหนดแฟนเอาต์ แต่หากทุกโหนดที่ต่อออกจากโหนดแฟนเอาต์ถูกระบุว่าไม่สามารถตรวจสอบได้ให้ระบุจุดเสียที่โหนดแฟนเอาต์ด้วยและสามารถค้นหาย้อนต่อไปได้อีก



ภาพที่ 3.6 วงจรตัวอย่างที่ไม่สามารถกำหนดให้โหนด C มีค่าตรรกเป็น “1” ได้ (C/1')

ตัวอย่างจากวงจรในภาพที่ 3.6 หากไม่สามารถกำหนดให้โหนด C มีค่าตรรกเป็น “1” ได้ ($C/1'$) การระบุจุดเสียที่ไม่สามารถตรวจสอบได้เพราะต้องการ $C/1$ สำหรับการกระตุ้นให้มีค่าตรรกตรงข้าม จะได้ (3.14)

$$\text{impl}(C/1') = \text{impl}(C/0) = \{C/0, E/1\} \quad (3.14)$$

จาก (3.14) พบสมาชิกของ $\text{impl}(C/1')$ คือ $C/0$ มี “0” เป็นค่าตรรกควบคุมของเกต AND ดังนั้นจุดเสียทุกจุดที่ต้องแพร่ผลของจุดเสียผ่านขั้วอินพุตของเกตที่มี C เป็นขั้วอินพุตทุกขั้ว อินพุตยกเว้นขั้ว C จะไม่สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งได้แก่จุดเสียที่เกิดขึ้นบนโหนด D A2 B A1 และ A