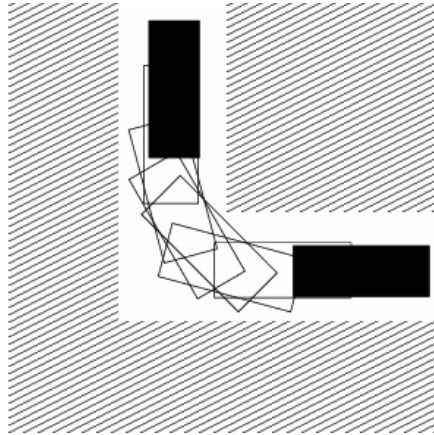


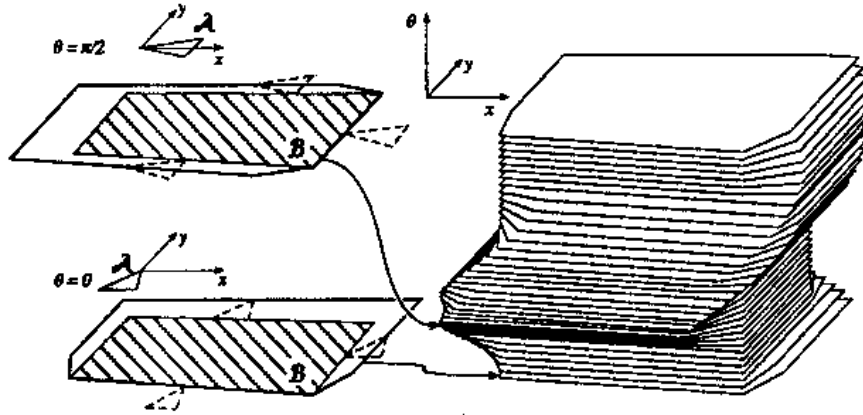
1.7 การวางแผนการเคลื่อนที่เมื่อหุ่นยนต์หมุนได้



รูปที่ 1 สีเหลี่ยมผืนผ้าเคลื่อนผ่านช่องแคบหักศอกด้วยการหมุนตัว

การวางแผนการเคลื่อนที่ที่กล่าวมาทั้งหมด ไม่ได้พิจารณาการบังคับให้หุ่นยนต์เลี้ยวหลบสิ่งกีดขวาง เราจำกัดให้หุ่นยนต์วางตัวในทิศทางที่กำหนดให้ อย่างไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ หรือเท่ากับว่าหุ่นยนต์ใช้ความสามารถในการเลื่อน (translate) เท่านั้น ข้อกำหนดดังกล่าวนำไปสู่วิธีวางแผนการเคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีประโยชน์ใช้สอยจำกัด การหมุน (rotation) แตกต่างจากการเลื่อนอย่างสิ้นเชิง ถึงแม้ว่ามันจะเป็นการสร้างการเปลี่ยนแปลงในเชิงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุเหมือนกัน วัตถุรูปสี่เหลี่ยมในรูปที่ 1 ไม่อาจเคลื่อนตัวผ่านช่องแคบหักศอกไปได้อย่างแน่นอนหากไม่อนุญาตให้หมุน การหมุนเป็นเรื่องที่สร้างความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากให้กับการวางแผนการเคลื่อนที่ เหมือนกับที่มันเพิ่มขึ้นของเนื้อหาให้กับเรขาคณิตศาสตร์ เมื่อการหมุนของหุ่นถูกนำมาพิจารณาด้วย นอกจากตำแหน่งของหุ่นยนต์ในแนวแกน x และ y เราต้องพิจารณามุมการวางตัวของหุ่นด้วย นั่นคือคอนฟิกรูเรชันที่ระบุหุ่นได้สมบูรณ์มีดีกรีอิสระเป็นสาม ทำให้ปริภูมิคอนฟิกรูเรชันมีสามมิติ และ C-Obstacle เป็นปริมาตรสามมิติในปริภูมินี้ รูปร่างของ C-Obstacle เป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพราะหากเราสามารถคำนวณได้ว่ามันมีหน้าตาอย่างไร เราก็สามารถใช้หลักการเดิม คือมองหุ่นยนต์เป็นจุดในปริภูมิคอนฟิกรูเรชันและหาเส้นทางที่ไม่ชนกับ C-Obstacle การสร้าง C-Obstacle ในกรณีที่หุ่นสามารถหมุนได้ทำได้โดยการนำ C-Obstacle ที่สัมพันธ์กับการวางตัวของหุ่นในแต่ละมุมมาเรียงซ้อนกัน (รูปที่ 2) สำหรับหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวางที่เป็นรูปหลายเหลี่ยม เราจะได้ C-Obstacle เป็นรูปร่างเหมือนเสาหลายเหลี่ยมที่ถูกบิด แน่แน่นอนว่ารูปร่างของมันไม่เป็นรูปทรงหลายด้าน

มีส่วนโค้ง ส่วนเว้า เราไม่สามารถบรรยายรูปร่างของมันได้โดยง่าย ในบทนี้เราจะศึกษาการวางแผนการเคลื่อนที่ของหุ่นที่หมุนได้ในกรณีง่ายสุด นั่นคือเมื่อหุ่นเป็นส่วนของเส้นตรงและสิ่งกีดขวางเป็นรูปหลายเหลี่ยม ปัญหานี้มีชื่อเรียกในวงการว่าปัญหาการวางแผนการเคลื่อนที่ของบันได (Moving ladder)

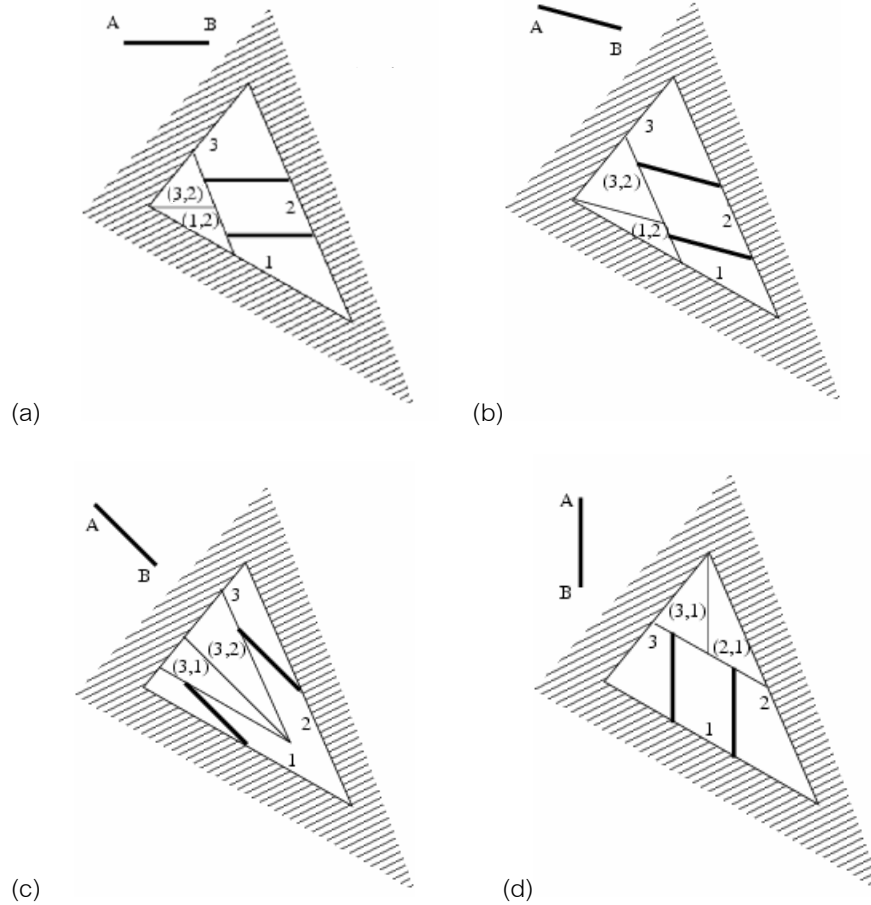


รูปที่ 2 C-Obstacle ของหุ่นรูปสามเหลี่ยมและสิ่งกีดขวางรูปสี่เหลี่ยมในกรณีที่หุ่นหมุนได้

ปัญหานี้กำหนดให้หุ่นยนต์ (บันได) สามารถเคลื่อนได้อย่างอิสระ และหมุนได้รอบทิศ โดยมีสิ่งกีดขวางเป็นรูปหลายเหลี่ยม ในกรณีที่หุ่นยนต์เป็นเพียงส่วนของเส้นตรง เราจะสามารถสร้าง C-Obstacle สำหรับมุมการวางตัวคงที่ได้ง่าย แต่การนำ C-Obstacle เหล่านี้มาวางซ้อนกันเป็น C-Obstacle ที่สมบูรณ์ก็ยังได้รูปทรงที่ไม่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการเคลื่อนที่โดยตรงได้สะดวก จุดสำคัญของการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงอยู่ที่ว่าจะทำอย่างไรในการแทนคอนฟิกูเรชันอิสระเพื่อให้วางแผนการเคลื่อนที่ได้ง่าย

พิจารณาหุ่นยนต์ที่เป็นส่วนของเส้นตรง AB วิธีหนึ่งในการบอกตำแหน่งของหุ่น คือการบอกตำแหน่งของจุด A ส่วนการวางตัวของหุ่นสามารถระบุได้ด้วยมุมที่รังสี AB ทำกับแกน x แต่ลองดูอีกวิธี ก่อนอื่นเราใส่ชื่อให้แต่ละด้านของสิ่งกีดขวาง จากนั้นกำหนดให้มุมการวางตัวของหุ่นคงที่ แล้วลองเขียนแบ่งบริเวณที่เป็นตำแหน่งของจุด A ซึ่งเมื่อเลื่อนหุ่นไปตามทิศทาง BA และ AB จะทำให้มันชนคู่ของด้านของสิ่งกีดขวางคู่เดียวกัน ลองดูตัวอย่างในรูปที่ 3(a) สิ่งกีดขวางเป็นที่ว่างรูปสามเหลี่ยมโดยแต่ละด้านมีชื่อคือ 1, 2 และ 3 ในตัวอย่างนี้หุ่นถูกกำหนดให้วางตัวในแนวราบ (AB ทำมุม 0 องศากับแกน x) เมื่อนำหุ่น AB ไปวางในที่ว่างในรูปสามเหลี่ยม เราจะได้บริเวณของจุด A สองบริเวณ บริเวณแรกเรียกว่าบริเวณ (3,2) (ตามด้านของสิ่งกีดขวางที่มันสามารถเคลื่อนไปชนได้) สำหรับหุ่นที่มีตำแหน่งในบริเวณนี้ (ปลาย A อยู่ในบริเวณนี้) เมื่อหุ่นถูกเลื่อนไปทางซ้าย (ทิศทาง BA) มันจะไปชนกับด้าน 3 ของสิ่งกีดขวาง และถ้าเลื่อนไปทางขวา (ทิศทาง AB) มันจะไปชนกับด้าน 2 ของสิ่งกีดขวาง อีกบริเวณหนึ่งคือบริเวณ

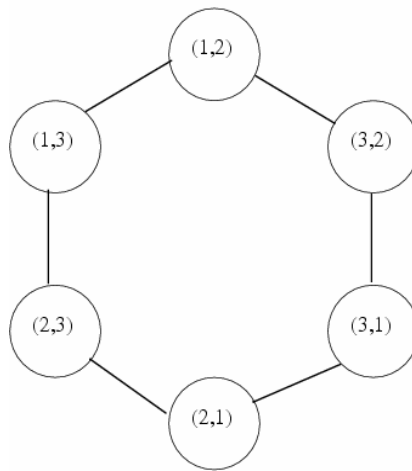
(1,2) สำหรับหุ่นที่อยู่ในบริเวณนี้ เมื่อถูกเลื่อนไปทางซ้าย มันจะชนด้าน 1 และถ้าเลื่อนไปทางขวา มันจะชนด้าน 2 ของสิ่งกีดขวาง เราจะเห็นได้ว่าบริเวณ (3,2) และ (1,2) อยู่ติดกัน นั่นคือหุ่นสามารถเลื่อนข้ามไปมาระหว่างสองบริเวณนี้ได้ ตอนนี้ลองพิจารณาให้เราหามุมหุ่นยนต์เล็กน้อยในทิศทางเข็มจนหุ่นวางตัวดังรูป 3(b) จากนั้นลองแบ่งบริเวณอิสระเหมือนที่ได้ทำไปแล้ว เราจะได้บริเวณสองบริเวณเดิมคือ (3,2) และ (1,2) ถึงแม้รูปร่างของสองบริเวณนี้จะเปลี่ยนไปแต่พฤติกรรมของหุ่นยนต์ที่อยู่ในบริเวณนี้ยังเหมือนเดิม เช่นหุ่นที่อยู่ในบริเวณ (3,2) เวลาถูกเลื่อนตามทิศทาง BA และ AB มันจะชนด้าน 3 และ 2 เหมือนกับหุ่นที่อยู่ในบริเวณ (3,2) ในรูป 3(a) นั่นก็คือหุ่นที่อยู่ในบริเวณอิสระมีช่วงมุมที่มันจะหมุนได้โดยไม่ชนอะไรและยังรักษาด้านทั้งสองที่มันสามารถพุ่งชนได้ด้วยการเลื่อนตามทิศทาง BA และ AB



รูปที่ 3 บริเวณอิสระที่สัมพันธ์กับหุ่นยนต์ AB ที่วางตัวตามมุมต่างๆ กัน

แต่หากเราลองหมุนหุ่นยนต์ตามเข็มนาฬิกาไปอีก เมื่อถึงจุดหนึ่งเราจะไม่ได้บริเวณอิสระเหมือนเดิม เช่นเมื่อหุ่นยนต์วางตัวเป็นมุมดังรูป 3(c) เราจะได้บริเวณอิสระคือ (3,2) และ (3,1) เรายังมีบริเวณ (3,2) อยู่แต่ไม่มีบริเวณ (1,2) แล้ว บริเวณ (3,2) ที่ยังมีอยู่นี้เองเป็นบริเวณเชื่อมโยงที่อนุญาตให้หุ่นยนต์ไปมาระหว่างมุมตามรูป 3(b) และ 3(c) เมื่อเราให้หุ่นยนต์หมุนต่อไปจนได้บริเวณที่เปลี่ยนไป เราจะได้บริเวณ (3,1) และ (2,1) ดังรูป 3(d) ลองคิดว่าบริเวณอิสระเปลี่ยนแปลงที่มุมไหนบ้าง

ด้วยวิธีการแทนบริเวณอิสระดังกล่าว เราสามารถสร้างกราฟแสดงความสามารถในการเคลื่อนและหมุนไปยังบริเวณอิสระต่างๆ สำหรับตัวอย่างหุ่นยนต์ AB และสิ่งกีดขวางตามรูปที่ 3 เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงบริเวณอิสระที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนและหมุนไปมาได้