ว.วิทย. มข. 44(3) 608-624 (2559) KKU Sci. J. 44(3) 608-624 (2016)

การกระจายส่วนแบ่งของเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดภายใต้สภาพแวดล้อมแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพด้วยหลักค่าแชปลีย์

Payoff Distribution of Agents in Optimal Coalition Structure under Non-Superadditive Environment by Shapley Value

เบญจวรรณ อินทระ[1*] ฉัตรตระกูล สมบัติธีระ[1] และ สวนิต วัฒนศักดากุล[2]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2] คณะบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแมคควอรี่ ประเทศออสเตรเลีย

[*]Correspondent author, E-mail: pooh13pang@gmail.com

บทคัดย่อ

หลักการที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-agent System) คือ การรวมกลุ่มเพื่อร่วมมือกันทำภารกิจระหว่างเอเจนต์ ในระดับระบบสิ่งสำคัญที่สุดของการรวมกลุ่มคือจะต้องเกิดประโยชน์กับระบบมากที่สุด แต่ในระดับเอเจนต์สิ่งสำคัญที่จะทำให้เกิดการรวมกลุ่มเพื่อร่วมมือกันทำภารกิจระหว่างเอเจนต์ในระบบมัลติเอเจนต์ คือ ส่วนแบ่งของผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการร่วมมือระหว่างเอเจนต์ในระบบ ซึ่งเอเจนต์จะต้องต่อรองระหว่างกันเพื่อให้ตนเองได้ส่วนแบ่งมากที่สุด

ในสภาพแวดล้อมแบบซุปเปอร์แอดดิทีพ (Superadditive) แต่ละเอเจนต์จะสามารถแบ่งปันผลประโยชน์ได้อย่างเท่าเทียมกันเพราะเอเจนต์สามารถรวมกลุ่มกันได้ทุก ๆ เอเจนต์และระบบเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในสภาพแวดล้อมแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ (Non-Superadditive) การรวมกลุ่มไม่สามารถรับประกันว่าจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแก่ระบบถึงแม้ว่าเอเจนต์จะสามารถแบ่งปันผลประโยชน์อย่างเท่าเทียมกันได้ ในการรวมกลุ่มเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแก่ระบบ จะมีเอเจนต์จำนวนหนึ่งที่ต้องอยู่ในกลุ่มที่มีมูลค่าน้อยซึ่งทำให้เกิดการเสียเปรียบและไม่ดึงดูดให้เอเจนต์รวมกลุ่มกันเพื่อประโยชน์ของระบบ การวิจัยนี้ใช้หลักการของค่าแชปลีย์ (Shapley Value) เพื่อแบ่งปันผลประโยชน์ระหว่างเอเจนต์ซึ่งยึดหลักการแบ่งปันผลประโยชน์ตามความสำคัญที่เอเจนต์มีต่อระบบเพื่อให้เกิดความยุติธรรมต่อเอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มที่มีมูลค่าน้อย ผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ใช้หลักการของค่าแชปลีย์สามารถกระจายส่วนแบ่งให้กับเอเจนต์ภายในกลุ่มขนาดเล็ก กลุ่มขนาดกลาง และกลุ่มขนาดใหญ่ได้ดียิ่งขึ้นและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อระบบ กล่าวคือสามารถช่วยให้เอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มที่มีมูลค่าน้อยได้รับส่วนแบ่งสูงขึ้นตามสัดส่วนที่กลุ่มนั้นมีความสำคัญต่อประโยชน์ของระบบ

ABSTRACT

An important feature in multiagent systems is forming coalitions among agents to execute tasks. At the system level, the most important thing for forming coalition is the system's benefit. At agent level, the most important factor for forming coalitions is the division of joint benefits accruing from agents' cooperation—agents must negotiate among themselves for maximizing their individual payoffs.

In superadditive environment, each agent can divide the payoffs equally because agents can always form grand coalition which yields maximal benefit for the system. However, in non-superadditive environment, forming grand coalition cannot guarantee such outcome. To yield maximal benefit to the system, cardinalities and coalition values may vary that means some agents may belong to low-valued coalitions, which do not attract agents to cooperate for the benefit of the system. This research applies Shapley Value concept in order to distribute coalition values more fairly. The concept follows the principle of agents' contribution to the system in order to convey more fairness to agents in small coalitions. The results show that applying the concept can distribute the system's benefit to coalitions of small, medium and large sizes more fairly and yields maximal benefit to the system. That is it can help agents in coalitions of low values to gains higher payoffs in proportion that the coalitions contribute to the system.

คำสำคัญ: เอเจนต์ โครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด การกระจาย ส่วนแบ่ง
Keywords: Agent, Optimal Coalition Structure, Distribution, Payoff

บทนำ

ในทางวิทยาการคอมพิวเตอร์กล่าวไว้ว่า เอเจนต์ (Agent) (Wooldridge, 2002) คือโปรแกรมที่มีความสามารถในการกระทำบางสิ่งบางอย่างได้อย่างอิสระด้วยตัวเองในนามของเจ้าของหรือผู้ใช้ ซึ่งเอเจนต์สามารถคิดวางแผนในการกระทำของตัวเองได้ หรือเรียนรู้จากสภาพแวดล้อม เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่ได้รับมอบหมาย โดยทั่วไปนั้นเอเจนต์จะมีความฉลาดในระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า อินเทลลิเจนต์เอเจนต์ (Intelligent Agent) (Bradshaw, 1997) รวมทั้งมีความสามารถในการร่วมมือกับมนุษย์หรือเอเจนต์ตัวอื่นๆ ในการปฏิบัติภารกิจ ซึ่งส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มร่วมมือกันระหว่างเอเจนต์ และเกิดระบบมัลติเอเจนต์ (Botti, 2004; Vidal, 2007; Weiss, 1999) ซึ่งเป็นศาสตร์หนึ่งในสาขาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการรวมกลุ่ม (Coalition Formation Theories) (Kahan and Rapoport, 1984) ของทฤษฎีเกม (Game Theory: Cooperative Game) (Owen, 1968) มีลักษณะการร่วมกลุ่มของเอเจนต์ เรียกว่า โครงสร้างกลุ่ม (Coalition Structure (CS)) ซึ่งสามารถนำมาใช้สำหรับการคำนวณหามูลค่าของโครงสร้างกลุ่ม

(Coalition Structure Value) ให้กับเอเจนต์ได้ และในโครงสร้างกลุ่มที่มีผลรวมของมูลค่ากลุ่มสูงสุด คือ โครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด (Optimal Coalition Structure (OCS)) ทั้งนี้ในการรวมกลุ่มของเอเจนต์ย่อมทำให้เกิดผลประโยชน์ร่วมกัน (Coalition Value) เกิดขึ้น สิ่งที่จะทำให้เอเจนต์ตกลงร่วมมือกันนั้นขึ้นอยู่กับการแบ่งปันผลประโยชน์ที่จะเกิดจากการร่วมมือกันของสมาชิกในกลุ่ม หากสมาชิกทั้งหมดในกลุ่มมีความพึงพอใจต่อส่วนแบ่ง (Payoff) ที่ตนจะได้รับจากผลประโยชน์ที่เกิดจากการร่วมมือกัน จะส่งผลให้มีการรวมกลุ่มของเอเจนต์เหล่านั้นเกิดขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตเกี่ยวกับการหาคำตอบว่าเอเจนต์ควรจะรวมกลุ่มกันอย่างไร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับระบบและเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด พบว่าเมื่อเอเจนต์ถูกจัดกลุ่มใน OCS แล้วมีบางเอเจนต์ที่ต้องเสียสละ (Sacrifice) ตัวเองไปอยู่ในกลุ่มที่มีส่วนแบ่งน้อย ซึ่งส่งผลให้เอเจนต์ดังกล่าวเสียเปรียบในการได้รับส่วนแบ่ง และลักษณะการรวมกลุ่มของเอเจนต์ใน OCS แสดงให้เห็นว่า เอเจนต์มีลักษณะในการรวมกลุ่มแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ ซึ่งตรงกับที่ Sandholm (Sandholm et al., 1999) กล่าวไว้ว่า ในทางทฤษฎีเกมการร่วมมืออาจจะไม่เป็นลักษณะของการรวมกลุ่มแบบซุปเปอร์แอดดิทีพที่มีลักษณะการกระจายเฉพาะในกลุ่มขนาดใหญ่เสมอไป เนื่องจากมีบางลักษณะที่เป็นแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ

ดังนั้นเพื่อให้ระบบ OCS มีประสิทธิภาพและยุติธรรม สำหรับส่วนแบ่งของเอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มที่มีส่วนแบ่งน้อย งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการของค่าแชปลีย์มาประยุกต์ใช้ในการกระจายส่วนแบ่งให้กับเอเจนต์ เนื่องจากหลักการของค่าแชปลีย์เป็นแนวคิดหนึ่งของการแก้ปัญหาในทฤษฎีการรวมกลุ่มของทฤษฎีเกม ซึ่งมีหลักคิดในเรื่องของการกระจายส่วนแบ่งอย่างยุติธรรมจากมูลค่าที่เอเจนต์สามารถนำมามอบให้แก่กลุ่ม รวมทั้งศึกษาผลกระทบระหว่างการเกิดขนาดของการรวมกลุ่มกับส่วนแบ่งของเอเจนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะของรูปแบบการกระจาย (Distribution) แบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ ซึ่งต่างไปจากหลักการค่าแชปลีย์ดั้งเดิมที่มีการศึกษาเพียงลักษณะของการกระจายในสภาพแวดล้อมแบบซุปเปอร์แอดดิทีพ ผลลัพธ์ในการทดลองนี้ทำให้ทราบลักษณะการกระจายส่วนแบ่งแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ ในแต่ละกลุ่มย่อยในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้มีหัวข้อที่เหลือ ดังนี้ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, วิธีการดำเนินการวิจัย, ผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีเกม

ทฤษฎีเกม (Owen, 1968) เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้เพื่อการเจรจาต่อรองอย่างมีประสิทธิภาพในการค้นหาแนวทางที่จะนำไปสู่ข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้เล่นหรือเอเจนต์ ซึ่งแบ่งตามกติกาการเล่นออกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1) เกมแบบไม่ร่วมมือกัน (Non-Cooperative Game) เป็นเกมที่กติกากำหนดให้ผู้เล่นไม่สามารถเจรจาต่อรองกันได้ การตัดสินใจของผู้เล่นเป็นอิสระต่อกัน

ประเภทที่ 2) เกมแบบร่วมมือกัน (Cooperative Game) เป็นเกมที่กติกากำหนดให้ผู้เล่นสามารถเจรจาต่อรองร่วมมือหรือร่วมกลุ่มกันระหว่างผู้เล่นด้วยกัน ทั้งนี้สิ่งที่จะทำให้ผู้เล่นตกลงร่วมมือกันนั้นขึ้นอยู่กับการแบ่งปันผลประโยชน์ที่จะเกิดจากการร่วมมือกัน

2. โครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด

โครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด (Kahan and Rapoport, 1984) เป็นการค้นหาแนวทางที่จะนำไปสู่การตกลงร่วมมือกัน เพื่อกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งของเอเจนต์อย่างเช่น สมมุติให้ระบบมัลติเอเจนต์ระบบหนึ่งประกอบด้วย 3 เอเจนต์ คือ N = {A, B, C} ระบบนี้สามารถมีการรวมกลุ่ม ($S \subseteq N$) ได้ทั้งหมด $2^3 - 1 = 7$ กลุ่ม ได้แก่ {A}, {B}, {C}, {A, B}, {A, C}, {B, C} และ {A, B, C} จะเห็นได้ว่าการรวมกลุ่มสามารถเป็นได้ตั้งแต่เอเจนต์แยกตัวอยู่เดี่ยวๆ (Singleton Coalition) การรวมกลุ่มกันตั้งแต่สองเอเจนต์หรือมากกว่าไปจนกระทั่งถึงการรวมกลุ่มของทุกๆเอเจนต์ (Grand Coalition) ในระบบ

ในทฤษฎีการรวมกลุ่มจะกำหนดให้มีฟังก์ชั่นกำหนดมูลค่าของกลุ่ม (Characteristic Function) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดผลประโยชน์หรือมูลค่า (υ(s)) ที่จะเกิดจากการรวมกลุ่มให้แก่กลุ่มต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น

$$\upsilon(A) = 2, \upsilon(B) = 4, \upsilon(C) = 3,$$
$$\upsilon(A, B) = 5, \upsilon(A, C) = 6, \upsilon(B, C) = 8,$$
$$\upsilon(A, B, C) = 10$$

หมายถึงมูลค่ากลุ่มที่ประกอบด้วย (A), (B), (C), (A, B), (A, C), (B, C) และ (A, B, C) ตามลำดับ ภายหลังจากการต่อรองส่วนแบ่งระหว่างกันแล้วในท้ายที่สุดแล้วเอเจนต์จะตัดสินใจรวมกลุ่มกันอย่างใดอย่างหนึ่ง ลักษณะการรวมกลุ่มนั้นๆ เรียกว่า โครงสร้างการรวมกลุ่ม จะเห็นได้ว่าในระบบนี้จะมี CS ทั้งหมดอยู่ 5 กลุ่ม ได้แก่ ((A), (B), (C)), ((A, B), (C)), ((A, C), (B)), ((A), (B, C)) และ((A, B, C)) ซึ่งสามารถหามูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่ม (Coalition Structure Value (υ(CS)) ได้ดังนี้

$$\upsilon(CS) = \sum_{S \in CS} \upsilon_{(S)} \qquad (1)$$

จากสมการที่ (1) υ(CS) คือ มูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่ม $S \in CS$ คือ กลุ่มทั้งหมดที่อยู่ในระบบโครงสร้างการรวมกลุ่ม (CS) และ $\upsilon_{(S)}$ คือ มูลค่ากลุ่มตามที่ได้อธิบายและยกตัวอย่างมาแล้วข้างต้น รวมทั้งการหาโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด (υ(CS)*) คือ

$$\upsilon(CS)^* = \operatorname{argmax} \sum_{S \in CS} \upsilon_{(S)} \qquad (2)$$

จากสมการที่ 2 แสดงรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่มที่มีผลรวมของมูลค่ากลุ่มสูงสุด เช่น จากโครงสร้างการรวมกลุ่มทั้ง 5 ลักษณะที่มีมูลค่าดังนี้ υ((A), (B), (C)) = 2 + 4 + 3 = 9, υ((A, B), (C)) = 5 + 3 = 8, υ((A, C), (B)) = 6 + 4 = 10, υ((A), (B, C)) = 2 + 8 = 10, υ((A, B, C)) = 10 ดังนั้นโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด (CS*) คือ ((A, C), (B)),((A), (B, C)) และ ((A, B ,C)) และ υ(CS)* คือ 10

3. ค่าแชปลีย์

ค่าแชปลีย์ (Kahan and Rapoport, 1984) ถูกคิดค้นโดยลอยด์ แชปลีย์ เป็นทฤษฎีใช้แนวคิดความยุติธรรมที่สามารถกระจายส่วนแบ่งให้กับเอเจนต์ได้อย่างยุติธรรมตามลำดับความสำคัญและมูลค่าที่เอเจนต์นำมามอบให้กับกลุ่ม และจากทฤษฎีนี้ ลอยด์ แชปลีย์ จึงได้รับรางวัลโนเบลสาขาเศรษฐศาสตร์ เมื่อปี 2012 ซึ่งทฤษฎีค่าแชปลีย์ใช้วิธีคำนวณหาส่วนแบ่งของกลุ่มในสภาพแวดล้อมแบบซุปเปอร์แอดดิทีพที่เมื่อกลุ่มสองกลุ่มรวมกันมูลค่าของกลุ่มใหญ่จะไม่น้อยกว่าผลรวมของกลุ่มย่อย ดังคุณสมบัติต่อไปนี้

$$\text{Superadditive: } \upsilon_{(S \cup T)} >= \upsilon(S) + \upsilon(T) \qquad (3)$$

โดยที่ $\upsilon_{(S \cup T)}$ คือ มูลค่ากลุ่ม S และกลุ่ม T สองกลุ่มรวมกัน

$\upsilon(S)$ คือ มูลค่ากลุ่มย่อย S

$\upsilon(T)$ คือ มูลค่ากลุ่มย่อย T

มีหลักการของค่าแชปลีย์พอสังเขปดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้มีฟังก์ชันที่ใช้เพื่อการกำหนดมูลค่าของกลุ่ม ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดผลประโยชน์หรือมูลค่าให้ทุกๆ โครงสร้างการรวมกลุ่มของเอเจนต์

2. การหาจำนวนวิธีของการเรียงลำดับ (Permutation) ของสมาชิกในกลุ่มเอเจนต์

3. การคำนวณหาส่วนแบ่งให้กับสมาชิกโดยหลักการของค่าแชปลีย์จากมูลค่าที่สมาชิกสามารถนำมามอบให้แก่กลุ่ม

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

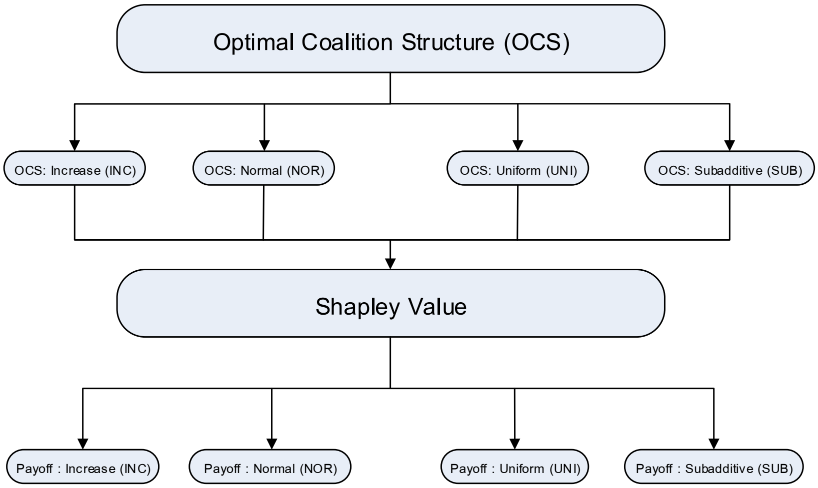
ฉัตรตระกูล และ Ghose (ฉัตรตระกูล และ Ghose, 2006) ได้เสนออัลกอริทึมบนทฤษฎี α-core โดยการค้นหาโครงสร้างการรวมกลุ่มภายในหลักเชิงเส้น (Linear Production Domain) โดยในแต่ละขนาดของกลุ่ม การคำนวณโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดจะสร้างตามรูปแบบการแบ่งเลขจำนวนเต็มที่เป็นจำนวนของเหล่าเอเจนต์ เช่น ถ้ามีเอเจนต์ 4 เอเจนต์จะมีรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่มดังต่อไปนี้ 4, 3+1, 2+2, 2+1+1, 1+1+1+1 เช่น 2+2 หมายถึงโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ประกอบด้วย 2 กลุ่มๆ ละ 2 เอเจนต์ การสร้างโครงสร้างการรวมกลุ่มทำได้โดยการเลือกกลุ่มที่มีผลกำไรสูงสุดในแต่ละขนาดของกลุ่มมาสร้างตามรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่ม ผลที่ได้คือโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด

Rahwan และคณะ (Rahwan et al., 2007) ได้เสนออัลกอริทึมที่ให้กำเนิดโครงสร้างการรวมกลุ่มตามรูปแบบการใช้ฟังก์ชั่นกำหนดมูลค่าของกลุ่มเป็นตัวกำหนดมูลค่ากลุ่ม โดยจัดให้มีการเรียงกลุ่มที่มีขนาดเท่ากันตามลำดับตัวอักษรของสมาชิกในกลุ่ม การให้กำเนิดโครงสร้างการรวมกลุ่มทำได้โดยการเลือกรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่มที่มีค่าขอบบน (Upper Bound) สูงสุดแล้วเลือกกลุ่มที่มีขนาดสอดคล้องเติมลงไปเป็นลำดับ ถึงแม้ว่าจะสามารถให้กำเนิดโครงสร้างการรวมกลุ่มได้อย่างรวดเร็วแต่ก็ยังไม่สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดเท่าที่ควร เนื่องจากต้องทำการค้นหาแบบทั่วถึง (Exhaustive Search) ในทุกๆ รูปแบบการรวมกลุ่มของเอเจนต์

ดังนั้น Rahwan และคณะ (Rahwan et al., 2007) จึงได้ปรับปรุงอัลกอริทึม โดยเพิ่มความสามารถในการกำจัด (Prune) พื้นที่การค้นหา โดยใช้เทคนิคบลานช์ แอน บาวน์ด (Branch and Bound) กับค่าขอบบนของรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่ม ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

วิธีการวิจัย

1. ภาพรวมในงานวิจัยนี้



รูปที่ 1 ผังการทำงานของระบบ (System Flow)

รูปที่ 1 การแสดงขั้นตอนในการทดลองจากการใช้หลักการของอัลกอริทึมโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด ซึ่งนำมาใช้เพื่อคำนวณกับการกระจายมูลค่า (Data Distribution) แบบต่าง ๆ ซึ่งได้มาจากการพัฒนาโปรแกรมสำหรับฟังก์ชั่นในการให้กำเนิดมูลค่ากลุ่มให้กับเอเจนต์ในรูปแบบการกระจายมูลค่าได้แก่ รูปแบบลักษณะการกระจายมูลค่าแบบเพิ่มขึ้น (Increase (INC)), รูปแบบลักษณะการกระจายมูลค่าแบบปกติ (Normal (NOR)), รูปแบบลักษณะการกระจายมูลค่าแบบสม่ำเสมอ (Uniform (UNI)) และรูปแบบลักษณะการกระจายมูลค่าแบบลดลง (Subadditive (SUB)) และนำผลที่ได้ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดมาคำนวณหาส่วนแบ่งของเอเจนต์หลังจากถูกจัดกลุ่มในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดแล้วต้องเสียสละตัวเองไปอยู่ในกลุ่มที่มีส่วนแบ่งน้อย จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และศึกษาอัตราส่วนการเกิดขนาดของการรวมกลุ่มกับส่วนแบ่งของเอเจนต์ในลักษณะของการกระจายแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพซึ่งต่างไปจากทฤษฎีค่าแชปลีย์ดั้งเดิมที่มีการศึกษาเพียงลักษณะของการกระจายแบบซุปเปอร์แอดดิทีพ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับฟังก์ชั่นกำหนดมูลค่ากลุ่ม ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทดลอง เพื่อให้กำเนิดรูปแบบของการกระจายมูลค่ากลุ่มที่แตกต่างกันในการรวมกลุ่ม โดยในแต่ละลักษณะจะมีแกน y แสดงมูลค่า (Value) และแกน x แสดงขนาด (|s|) ของกลุ่มเอเจนต์หรือคาร์ดิเนลลิตี้ (Cardinality) แบ่งเป็นหมวดหมู่ของการกระจาย ได้แก่

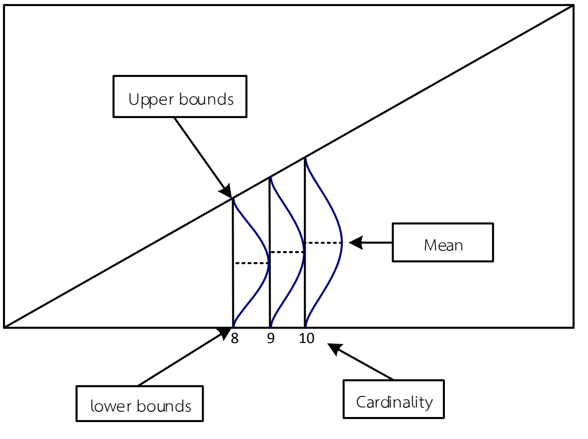
1. INC แสดงตัวอย่างลักษณะการกระจายมูลค่าในลักษณะของ INC ซึ่งมีรูปแบบของลักษณะการกระจายมูลค่าแบบเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แสดงตัวอย่างของข้อมูลแบบ INC ดังรูปที่ 2

2. NOR แสดงตัวอย่างลักษณะการกระจายมูลค่าในลักษณะของ NOR ซึ่งรูปแบบที่มีลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบปกติ แสดงตัวอย่างลักษณะมูลค่าแบบ NOR ดังรูปที่ 3

3. UNI แสดงตัวอย่างลักษณะการกระจายมูลค่าในลักษณะของ UNI ซึ่งมีรูปแบบลักษณะการกระจายมูลค่าแบบสม่ำเสมอ แสดงตัวอย่างลักษณะมูลค่าแบบ UNI ดังรูปที่ 4

4. SUB แสดงตัวอย่างลักษณะการกระจายมูลค่า ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวของมูลค่าที่เมื่อกลุ่มสองกลุ่มรวมกันมูลค่าของกลุ่มใหญ่จะน้อยกว่าผลรวมของกลุ่มย่อยเดิม แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบ SUB ดังรูปที่ 5

ในงานวิจัยนี้พิจารณาลักษณะกระจายมูลค่ากลุ่ม โดยกราฟทั้ง 4 รูปแบบจากในงานวิจัยของ Rahwan และคณะ (Rahwan et al., 2007) ที่ได้นำเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการให้กำเนิดโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ทำได้โดยการเลือกรูปแบบโครงสร้างการรวมกลุ่มที่มีค่าขอบบน

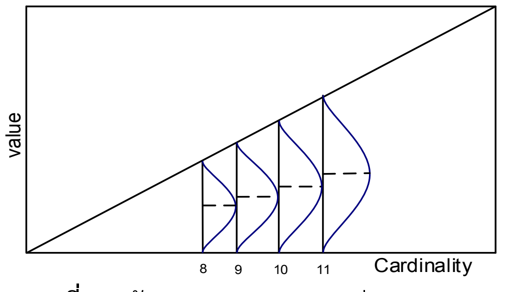


รูปที่ 2 ส่วนประกอบของกราฟ

รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของกราฟ ดังนี้

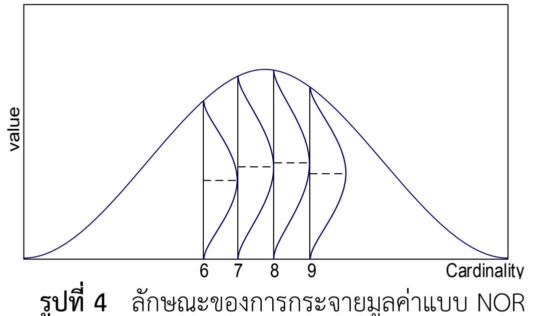
- เส้นขอบบนของกราฟ (Upper bounds) แสดงให้เห็นแนวโน้มของการกระจายมูลค่าของเอเจนต์ที่มีมูลค่าสูงสุด
- เส้นขอบล่าง (lower bounds) แสดงให้เห็นแนวโน้มของการกระจายมูลค่าของเอเจนต์ที่มีมูลค่าต่ำสุด
- คาร์ดิเนลลิตี้ (Cardinality) คือ กลุ่มขนาดต่างๆ จากในรูปที่ 2 แสดงให้เห็น กลุ่มขนาด 8, 9 และ 10 ซึ่งในแต่ละคาร์ดิเนลลิตี้ จะมีมูลค่ากลุ่ม (CV) ที่ตกอยู่
- ค่าเฉลี่ย (Mean) แสดงลักษณะการกระจายตัวของมูลค่ากลุ่มในคาร์ดิเนลลิตี้ขนาดต่าง ๆ

ซึ่งในการหาโครงสร้างของการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด จะขึ้นอยู่กับการกระจายของมูลค่ากลุ่มแบบต่าง ๆ ดังกราฟ 4 ลักษณะนี้



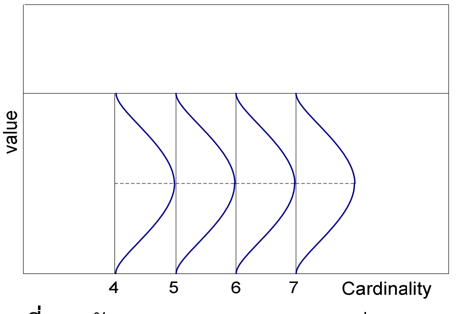
รูปที่ 3 ลักษณะการกระจายมูลค่าแบบ INC

กราฟลักษณะที่ 1 ลักษณะการกระจายมูลค่าแบบ INC จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นแนวโน้มการกระจายมูลค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของคาร์ดิเนลลิตี้ขนาดต่างๆ มีลักษณะสูงขึ้นไปด้วย



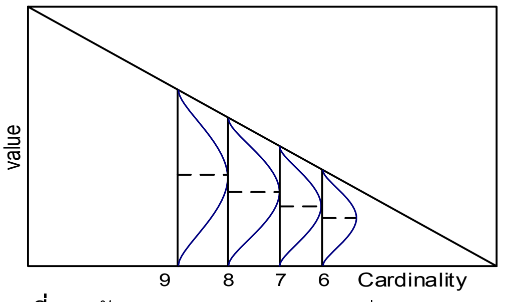
รูปที่ 4 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ NOR

กราฟลักษณะที่ 2 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ NOR จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นแนวโน้มการกระจายมูลค่าที่มีค่าเฉลี่ยในลักษณะแบบ NOR



รูปที่ 5 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ UNI

กราฟลักษณะที่ 3 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ UNI จากรูปที่ 5 แสดงแนวโน้มการกระจายมูลค่าแบบสม่ำเสมอ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของคาร์ดิเนลลิตี้ขนาดต่างๆ เท่ากัน



รูปที่ 6 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ SUB

กราฟลักษณะที่ 4 ลักษณะของการกระจายมูลค่าแบบ SUB จากรูปที่ 6 แสดงแนวโน้มการกระจายมูลค่าแบบลดลงเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของคาร์ดิเนลลิตี้ขนาดต่างๆ ลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้กำเนิดรูปแบบของการกระจายมูลค่าทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ INC, NOR, UNI และ SUB จากนั้นนำมาทดลองกับเอเจนต์จำนวน 15 เอเจนต์อย่างละ 100 รอบ ซึ่งจากการกำหนดจำนวนเอเจนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 15 เอเจนต์ เนื่องจากต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บ เบลนัมเบอร์ (Bell Number) (Kahan and Rapoport, 1984) ของโครงสร้างการรวมกลุ่มทั้งหมด S = 2^n- 1 จะได้ 2^{15}- 1 = 32,767 กลุ่ม รวมทั้งต้องเก็บกลุ่มของเอเจนต์ที่นำมาทำการหาจำนวนวิธีการเรียงลำดับของสมาชิกในกลุ่มเอเจนต์ และเก็บการหามูลค่าส่วนแบ่งที่แต่ละเอเจนต์จะได้รับ รวมทั้งการประมวลผลของอัลกอริทึมอย่าง 100 รอบ เนื่องจากเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม จากนั้นจึงศึกษาลักษณะการเกิดส่วนแบ่งในแต่ละกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละขนาดของการรวมกลุ่ม ซึ่งโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับการกระจายมูลค่าการรวมกลุ่ม และในแต่ละลักษณะของข้อมูลการกระจายมูลค่านั้นลักษณะการเกิดส่วนแบ่งในแต่ละ กลุ่มของโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดโดยอัลกอริทึมค่าแชปลีย์ ซึ่งแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4

4. อัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลอง

4.1 อัลกอริทึมโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด

อัลกอริทึมนี้จะทำการคำนวณมูลค่ากลุ่มของเอเจนต์ในรูปแบบของการกระจายมูลค่า ได้แก่ INC, NOR, UNI และ SUB เพื่อหาโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด ตามกระบวนการโดยเริ่มจากการอธิบายตัวแปรต่างๆ ในตารางที่ 1 และอธิบายกระบวนการคำนวณหาการรวมกลุ่มภายใน OCS พร้อมยกตัวอย่าง แสดงดัง Algorithm 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการอธิบายตัวแปรใน Algorithm 1

ตัวแปร	อธิบายตัวแปร
N	จำนวนของเอเจนต์
L	การแบ่ง Integer Partition (วิธีการแบ่งเลขจำนวนเต็ม)
S	การรวมกลุ่มทั้งหมด
F	การตั้งค่า (Configuration) ในการรวมกลุ่ม
CS	โครงสร้างการรวมกลุ่ม
υ(CS)	มูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่ม (Coalition Structure Value)
υ(CS)*	มูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด
OCS	โครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด (Optimal Coalition Structure)

Algorithm 1:Optimal Coalition Structure(*OCS*)

```
 1:     set N = noa
 2:     for each i from 1 to N do
 3:        set s = 2^N
 4:        for each s from S ⊆ N do
 5:           generate υ
 6:           υ(CS)= ∑ S∈CS υ(s)
 7:        end for
 8:     end for
 9:     generate L(N)
10:     let F[L] <- cs
11:     for each υ(CS) ∈ CS do
12:        υ(CS)* = argmax ∑S∈CS υ(s)
13:        OCS = υ(CS)*
14:     end for
15:     return OCS
```

จาก Algorithm 1 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดได้ดังต่อไปนี้

บรรทัดที่1) กำหนดจำนวนของเอเจนต์ N จำนวน ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้ N = 4 จะได้โครงสร้างการรวมกลุ่ม N = {A, B, C, D}

บรรทัดที่ 2) สำหรับแต่ละ i เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง N

บรรทัดที่ 3) กำหนดจำนวนของการรวมกลุ่มทั้งหมด

บรรทัดที่ 4) สำหรับแต่ละการรวมกลุ่มทั้งหมด

บรรทัดที่ 5) กำหนดให้ทำการให้กำเนิดมูลค่าในแต่ละ S พร้อมทั้งกำหนดมูลค่า ให้กับโครงสร้างการรวมกลุ่มทั้ง 15 กลุ่ม

บรรทัดที่ 6) ทำการหามูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่ม

บรรทัดที่ 7) จบขั้นตอนการทำงานของ for ในบรรทัดที่ 4 สำหรับการกำหนดมูลค่ากลุ่มให้กับเอเจนต์

บรรทัดที่ 8) จบขั้นตอนการทำงานของ for ในบรรทัดที่ 2 สำหรับการกำหนดกลุ่มให้กับเอเจนต์

บรรทัดที่ 9) กำหนดการให้กำเนิดการแบ่งเลขจำนวนเต็ม (Integer Partition) เริ่มจากให้ N แทนเลขจำนวนของเอเจนต์ การแบ่งของ N คือ การแทน N ด้วยผลรวมของเลขจำนวนเต็มกล่าวคือ $N = a_1 + \ldots + a_N$ ผลรวมของ $a_1 + \ldots + a_N$ เรียกว่า พาท (Parts) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการแบ่งเลขจำนวนเต็ม กำหนดให้ L(N) แทนจำนวนของการแบ่งของ N และ L(N) เรียกว่า การแบ่งเลขจำนวนเต็ม (Partition Number) หรือจำนวนที่เกิดจากการแบ่งเลขจำนวนเต็ม อย่างเช่น มีเอเจนต์อยู่ 4 เอเจนต์ในระบบจะแทนด้วย L(4) เป็นจำนวนการแบ่งของ 4 เอเจนต์ คือ 4, 3+1, 2+2, 1+1+2, 1+1+1+1 ตามลำดับ ดังตัวอย่างตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งกลุ่มตามเลขจำนวนเต็ม

Integer Partition		*CS*
L[4]	*F[L] =*	*{A,B,C,D}*
L[3+1]	*F[L] =*	*{B,C,D},{A}* *{A,C,D},{B}* *{A,B,D},{C}* *{A,B,C},{D}*
L[2+2]	*F[L] =*	*{A,B},{C,D}* *{A,C},{B,D}* *{A,D},{B,C}*
L[1+1+2]	*F[L] =*	*{A},{B},{C,D}* *{A},{C},{B,D}* *{A},{D},{B,C}* *{B},{C},{A,D}* *{B},{D},{A,C}* *{C},{D},{A,B}*
L[1+1+1+1]	*F[L] =*	*{A},{B},{C},{D}*

บรรทัดที่ 10) กำหนดให้ F[L] เป็นการแบ่งโครงสร้างการรวมกลุ่มตามการแบ่งเลขจำนวนเต็ม โดยกำหนดให้แต่ละการแบ่งเลขจำนวนเต็ม สามารถแทนในแต่ละการตั้งค่า ยกตัวอย่างเช่น มีการรวมกลุ่มได้ทั้งหมด 15 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 2 ในคอลัมน์ CS

บรรทัดที่ 11) สำหรับแต่ละโครงสร้างการรวมกลุ่ม (CS) เป็นการกำหนดมูลค่าให้แต่ละเอเจนต์ตามการกระจายมูลค่าที่กำหนดไว้จากข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง โดยฟังก์ชั่นกำหนดมูลค่าของกลุ่ม

บรรทัดที่ 12) ทำการหามูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด ตัวอย่างดังที่ได้แสดงไว้ก่อนหน้านี้ในสมการที่ 2

บรรทัดที่ 13) กำหนดให้มูลค่าของโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดในแต่ละ CS ที่มีผลรวมสูงสุด และเก็บไว้ในตัวแปร OCS

บรรทัดที่ 14) จบการทำงานของ for ในบรรทัดที่ 11

บรรทัดที่ 15) ทำการส่งค่าที่ถูกเก็บไว้ในตัวแปร OCS ไปยัง Algorithm 2 ต่อไป

และเมื่อได้การรวมกลุ่มของเอเจนต์จากอัลกอริทึมโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดแล้ว ซึ่งผลที่ได้นั้นเอเจนต์จะมีการรวมกลุ่มในขนาดต่าง ๆ และมีการกระจายมูลค่ากลุ่มตามลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นจึงนำการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดของเอเจนต์ไปเข้าอัลกอริทึมค่าแชปลีย์ เพื่อคำนวณหาการกระจายส่วนแบ่งให้กับเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด โดยแบ่งตามมูลค่าที่เอเจนต์สามารถนำมามอบให้แก่กลุ่ม ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการกระจายส่วนแบ่งอย่างยุติธรรมแก่เอเจนต์ดังกล่าว โดยวิธีการคำนวณจะแสดงขั้นตอนดัง Algorithm 2 (อัลกอริทึมค่าแชปลีย์) ในหัวข้อที่ 4.2

4.2 อัลกอริทึมค่าแชปลีย์

ตารางที่ 3 แสดงการอธิบายตัวแปรที่ใช้ใน Algorithm 2

ตัวแปร	อธิบายตัวแปร
P	เซตของ permutation โดย $p \in P$ หรือกลุ่มเอเจนต์ในกลุ่ม p โดย $OCS_j < OCS_k$
OCS_j	เอเจนต์ของ Optimal Coalition Structure ที่ถูกเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่ม โดยที่ $1 \leq j$
OCS_k	เอเจนต์ของ Optimal Coalition Structure ที่ถูกเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่ม โดยที่ $k \leq n$
$S(OCS_j)$	กลุ่มเก่าที่มีสมาชิกเรียงตามการเรียงลำดับ (Permutation) การเข้าร่วมกลุ่มถึง OCS_j
$S(OCS_k)$	กลุ่มใหม่ที่มีสมาชิกเรียงตามการเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มถึง OCS_k
$\upsilon(Socs_j)$	มูลค่ากลุ่มเก่า
$\upsilon(Socs_k)$	มูลค่ากลุ่มใหม่
$C^{p}_{ocs_k}$	การมอบมูลค่าที่เอเจนต์มีอยู่ให้กลุ่ม (Contribution) ของ ocs_k ใน P
Avg	ค่าเฉลี่ยของกำไรที่ถูกจัดสรรอย่างยุติธรรม

Algorithm 2: Modifier Shapley Value

1: $OCS = argmax\sum_{s \in ocs}$
2: **for** each $p \in P$ **do**
3:   Set OCS_j = null
4:   **for** each $OCS_j \in p$ **do**
5:     Set $S(OCS_j) = S(OCS_k)\ U\ OCS_j$
6:     $C^{p}_{ocs_k} = \upsilon(Socs_k) - \upsilon(Socs_j)$
7:     $S(ocs_j) = S(ocs_k)$
8:   **end for**
9:   **for** $OCS_j \in OCS$ **do**
10:     $C(ocs_j, p) = \sum_{i=0}^{p} C^{p}_{ocs_k}$
11:   **end for**
12:   $Arg = 1/OCS\ C(ocs_j, p)$
13: **end for**

Algorithm 2 แสดงขั้นตอนการทำงานในการคำนวณหาส่วนแบ่งของกลุ่มใน OCS โดยหลักการของค่าแชปลีย์ ดังต่อไปนี้

บรรทัดที่ 1) กำหนดให้มีการนำค่า OCS มาใช้ในการคำนวณตามหลักการของค่าแชปลีย์

บรรทัดที่ 2) สำหรับแต่ละจำนวนของรายการการเรียงลำดับของสมาชิกกลุ่ม OCS ยกตัวอย่างเช่น กลุ่ม OCS ประกอบด้วย {E, D}, {A, B, C} จะได้การเรียงลำดับของกลุ่ม {E, D} คือ 2 x 1 = 2 รายการในการเรียงลำดับสมาชิกและกลุ่ม {A, B, C} คือ 3 x 2 x 1 = 6 รายการในการเรียงลำดับสมาชิก

บรรทัดที่ 3) กำหนดให้เอเจนต์ที่เป็นสมาชิกในกลุ่มโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดที่ถูกเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มแล้ว โดยที่ 1≤ j มีค่าเป็น null

บรรทัดที่ 4) สำหรับแต่ละโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดภายใน for ของการถูกเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มของเอเจนต์ในกลุ่ม OCS

บรรทัดที่ 5) ให้ทำการกำหนดกลุ่มของ OCS กลุ่มเก่าที่มีสมาชิกเรียงตามการเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มถึง OCS_j เท่ากับกลุ่มใหม่ที่มีสมาชิกเรียงตามการเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มถึง OCS_k รวมกันกับกลุ่มเอเจนต์ของ OCS ที่ถูกเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่มทั้งหมด โดยที่ 1 ≤ j

บรรทัดที่ 6) ทำการคำนวณหามูลค่าที่แต่ละเอเจนต์ในกลุ่ม OCS_j นำมามอบให้กับกลุ่ม โดยคำนวณจากการนำมูลค่าของกลุ่ม OCS ที่เป็นกลุ่มใหม่ $\upsilon(Socs_k)$ ลบกับมูลค่าของกลุ่ม OCS ที่เป็นกลุ่มเก่า $\upsilon(Soc_j)$ ยกตัวอย่างเช่น พิจารณากลุ่ม {A, B, C} เริ่มจากสมาชิกตัวแรกคือ เอเจนต์ A มีมูลค่าเป็น 2 ซึ่งเป็นมูลค่าที่เกิดจากการร่วมมือเพียงลำพัง ต่อมามีสมาชิกตัวที่สองคือเอเจนต์ B ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มให้แก่กลุ่มโดยการนำมูลค่าของ OCS กลุ่มใหม่มาลบกับมูลค่าของ OCS กลุ่มเก่าดังนี้ $\upsilon(S_{A,B}) - \upsilon(S_A) = 5 - 2 = 3$ จากนั้นสมาชิกตัวที่สามคือเอเจนต์ C ทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าให้แก่กลุ่ม โดยการนำมูลค่ากลุ่มใหม่ลบกับมูลค่ากลุ่มเก่า ดังนี้ $\upsilon(S_{A,B,C}) - \upsilon(S_{A,B}) = 10 - 5 = 5$ และหากพิจารณาการร่วมมือของ {C, B, A} การเพิ่มมูลค่าของแต่ละเอเจนต์ เพื่อการร่วมมือกัน ดังนี้

Agent C : $\upsilon(S_C) - \upsilon(\emptyset) = 3 - 0 = 3$ (4)

Agent B : $\upsilon(S_{C,B}) - \upsilon(S_C) = 8 - 3 = 5$ (5)

Agent A : $\upsilon(S_{C,B,A}) - \upsilon(S_{C,B}) = 10 - 8 = 2$ (6)

และทำซ้ำในกระบวนการคำนวณมูลค่าที่เอเจนต์นำเข้ามาเพิ่มยังกลุ่มจนครบ สำหรับแต่ละรายการของการร่วมมือจะสามารถให้มูลค่าของแต่ละเอเจนต์ ดังแสดงตัวอย่างมูลค่าที่ได้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงมูลค่าที่เอเจนต์นำมามอบให้กลุ่มตามหลักของค่าแชปลีย์

Order	Contribution of Agent		
	A	B	C
{A,B,C}	2	3	5
{A,C,B}	2	4	4
{B,A,C}	1	4	5
{B,C,A}	2	4	4
{C,A,B}	3	4	3
{C,B,A}	2	5	3
Sum of Contribution	12	24	24
Average of Contribution	2	4	4

บรรทัดที่ 7) กำหนดให้กลุ่มของ OCS กลุ่มใหม่มีค่าเป็นกลุ่มของ OCS กลุ่มเก่า

บรรทัดที่ 8) จบการทำงานของ for ในบรรทัดที่ 4

บรรทัดที่ 9) สำหรับกลุ่มของ OCS กลุ่มเก่าที่เป็นสมาชิกของ OCS ให้ดำเนินการต่อไปในบรรทัดที่ 10

บรรทัดที่ 10) ทำการหาผลรวมในมูลค่ากลุ่มของ OCS ว่าเอเจนต์แต่ละเอเจนต์ที่เป็นสมาชิกในกลุ่ม OCS นำมามอบให้กับกลุ่ม ยกตัวอย่างการคำนวณหาผลรวมของเอเจนต์กลุ่ม OCS ดังต่อไปนี้

Sum of Contribution (Agent A)

= 2+2+1+2+3+2 = 12 (7)

Sum of Contribution (Agent B)

= 3+4+4+4+4+5 = 24 (8)

Sum of Contribution (Agent C)

= 5+4+5+4+3+3 = 24 (9)

แสดงดังตารางที่ 4 ในช่องแถว Sum of Contribution

บรรทัดที่ 11) จบการทำงานของ for บรรทัดที่ 9

บรรทัดที่ 12) หาค่าเฉลี่ยที่แต่ละเอเจนต์ในกลุ่ม OCS จะได้รับ โดยการนำค่าผลรวมของแต่ละเอเจนต์หารด้วยจำนวนของการเรียงลำดับการเข้าร่วมกลุ่ม OCS ดังที่ยกตัวอย่างเช่นมาแล้วในบรรทัดที่ 2 ว่ามีทั้งหมด 6 รายการ และในส่วนของการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละเอเจนต์ใน 6 รายการที่เกิดจากความร่วมมือกัน

สำหรับค่าแชปลีย์ที่ได้ นั่นคือ

1/6 (12, 24, 24) = (2, 4, 4) (10)

(2, 4, 4; A, B, C) เป็นค่าของแชปลีย์ที่มีการจัดสรรการแบ่งบันส่วนแบ่งแก่เอเจนต์แต่ละเอเจนต์ตามลำดับความสำคัญของมูลค่าที่เอเจนต์นั้นๆนำมามอบให้กับกลุ่มที่เอเจนต์เป็นสมาชิก

บรรทัดที่ 13) จบการทำงานของอัลกอริทึม

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหาขนาดของกลุ่ม OCS ในแต่ละลักษณะการกระจายและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรวมกลุ่มของเอเจนต์

ผลการศึกษาได้สรุปไว้ในตารางที่ 5 ซึ่งได้จากการทดลองคำนวณหาขนาดของกลุ่ม OCS ในสภาพแวดล้อมแบบนอนซูปเปอร์แอดดิทีพโดยลักษณะการกระจายมูลค่าทั้ง 4 ลักษณะ ได้แก่ INC, NOR, UNI และ SUB รวมทั้งกำหนดให้ใช้กับเอเจนต์จำนวน 15 เอเจนต์ และทำการรันอย่างละ 100 รอบ พบว่าลักษณะรวมกลุ่มของเอเจนต์ใน OCS นั้น มีการแบ่งกลุ่มของเอเจนต์ที่มีการแบ่งกลุ่มออกเป็นสามกลุ่ม คือ กลุ่มขนาดเล็ก, กลุ่มขนาดกลาง และกลุ่มขนาดใหญ่ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายมูลค่ากับขนาดของกลุ่ม

Data Distribution	Time in sec	Size Distribution of Agents						การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรวมกลุ่มเอเจนต์ (Indicator Comparison)
		Small		Medium		Large		
		Ratio	$\overline{x}$	Ratio	$\overline{x}$	Ratio	$\overline{x}$	
INC	63.47	23.67	19.34	26	20.50	50.33	32.67	7.38
SUB	7.14	0.92	7.96	14.84	14.92	84.24	49.62	22.32
NOR	5.90	1.10	8.05	5.15	10.08	93.75	54.38	26.18
UNI	5.60	3.32	9.16	3.35	9.18	93.33	54.17	25.98

จากตารางที่ 5 พบว่า ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง การกระจายมูลค่ากลุ่มทั้ง 4 ลักษณะกับขนาดของกลุ่ม ซึ่งสรุปการรวมกลุ่มของเอเจนต์จากการสังเกตลักษณะการรวมกลุ่มของเอเจนต์หลังผ่านกระบวนการในอัลกอริทึมโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดในแต่ละการกระจายมูลค่ากลุ่ม โดยเอเจนต์มีการแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มขนาดเล็กมีขนาดของการรวมกลุ่ม OCS ที่มีจำนวนเอเจนต์ตั้งแต่ 1-5 เอเจนต์

2) กลุ่มขนาดกลางมีขนาดของการรวมกลุ่ม OCS ที่มีจำนวนเอเจนต์ตั้งแต่ 6-10 เอเจนต์

3) กลุ่มขนาดใหญ่มีขนาดของการรวมกลุ่ม OCS ที่มีจำนวนเอเจนต์ตั้งแต่ 10-15 เอเจนต์

ซึ่งจากการประเมินลักษณะของการรวมกลุ่มของเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดพบว่า เมื่อเอเจนต์รวมกลุ่มกันในการรวมกลุ่มที่ดีที่สุด เอเจนต์ที่มีมูลค่ามากจะถูกจัดกลุ่มให้ไปอยู่กับเอเจนต์ตัวอื่นที่มีมูลค่ากลุ่มมากเช่นกัน และเอเจนต์ที่มีมูลค่ากลุ่มน้อยจะต้องเสียสละตัวเองไปอยู่ในกลุ่มที่มีมูลค่ากลุ่มน้อย และส่งผลให้เอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มมูลค่ากลุ่มน้อยเสียเปรียบในการได้รับส่วนแบ่ง เพื่อแก้ปัญหานี้ในงานวิจัยนี้จึงนำหลักการค่าแชปลีย์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาส่วนแบ่งให้แก่เอเจนต์ โดยนำเอเจนต์ทั้งสามกลุ่มมาคำนวณหาส่วนแบ่งภายในกลุ่มที่เอเจนต์ตกอยู่ ซึ่งเอเจนต์ทั้งสามกลุ่มจะมีการแบ่งส่วนกันอย่างยุติธรรมตามมูลค่าภายกลุ่มเอเจนต์สามารถนำมามอบให้แก่กลุ่ม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการนำการรวมกลุ่มที่มีขนาด OCS ของเอเจนต์ทั้งสามกลุ่มไปหาส่วนแบ่งในหัวข้อถัดไป

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองกระจายส่วนแบ่งภายในกลุ่ม OCS

จะเห็นได้ว่า การแบ่งกลุ่มของเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกุลุ่มที่ดีที่สุดมีการแบ่งกลุ่มออกเป็น

3 ขนาดดังกล่าวตามหลักการอัลกอริทึมโครงสร้างการวมกลุ่มที่ดีที่สุด รวมทั้งเอเจนต์มีการกระจายมูลค่ากลุ่มที่สามารถนำมาคำนวณหาการกระจายส่วนแบ่งกลุ่มของเอเจนต์ โดยการประยุกต์ใช้หลักอัลกอริทึมค่าแชปลีย์ที่สามารถกระจายส่วนแบ่งได้ตามความสำคัญของมูลค่าที่เอเจนต์สามารถนำมามอบให้แก่กลุ่ม วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบในการแบ่งกลุ่มของเอเจนต์ ในสภาพแวดล้อมแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพ ที่แสดงให้เห็นลักษณะของแนวโน้มในการจัดสรรส่วนแบ่งภายในกลุ่มเอเจนต์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายมูลค่ากลุ่มกับส่วนแบ่งภายในกลุ่ม แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายมูลค่ากลุ่มกับส่วนแบ่งภายในกลุ่ม

Distribution	The size of group (%)		
	Small	Medium	Large
INC	2.50	5.54	5.93
NOR	4.80	5.13	5.20
UNI	3.40	3.30	3.60
SUB	10.32	10.48	11.24

จากตารางที่ 6 จะพบว่า ในแต่ละลักษณะของการกระจายมูลค่าทั้ง 4 ลักษณะนั้น สามารถกระจายส่วนแบ่งให้แก่เอเจนต์ได้ในทุก ๆ กลุ่ม ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มของเอเจนต์ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งจากการศึกษาผลลัพธ์นี้ทำให้ทราบถึงแนวโน้มการกระจายส่วนแบ่งของเอเจนต์ในกลุ่มทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันตามมูลค่าในกลุ่มนั้น ๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาส่วนแบ่งของเอเจนต์ในโครงสร้างการรวมกลุ่มที่ดีที่สุดในสภาพแวดล้อมแบบนอนซุปเปอร์แอดดิทีพในแต่ละลักษณะของข้อมูลการกระจายมูลค่ากลุ่มที่แตกต่างกัน สำหรับ 15 เอเจนต์อย่างละ 100 รอบ โดยพิจารณาจากเอเจนต์ในกลุ่ม OCS จากการประยุกต์ใช้หลักอัลกอริทึมค่าแชปลีย์ เพื่อให้ระบบ OCS มีประสิทธิภาพและยุติธรรมสำหรับส่วนแบ่งของเอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มที่มีส่วนแบ่งน้อย

จากผลการทดลองพบว่า เอเจนต์ในกลุ่ม OCS โดยการประยุกต์ใช้หลักค่าแชปลีย์สามารถกระจายส่วนแบ่งให้กับเอเจนต์ภายในกลุ่ม OCS ซึ่งมีลักษณะของการรวมกลุ่มขนาดเล็ก ขนาดกลาง และกลุ่มขนาดใหญ่ สามารถช่วยให้เอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มที่มีส่วนแบ่งน้อยได้รับส่วนแบ่งอย่างเหมาะสม ส่งผลให้เอเจนต์ที่อยู่ในกลุ่มขนาดเล็กหรือเอเจนต์ที่มีส่วนแบ่งน้อย ได้รับส่วนแบ่งที่ยุติธรรมโดยหลักการของค่าแชปลีย์ ซึ่งได้จากการคำนวณตามมูลค่าที่เอเจนต์นำมามอบให้กันภายในกลุ่ม OCS ที่มีขนาดเล็ก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนผู้มีศักยภาพทางการวิจัยคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

Botti, V. J. (2004). Multi-Agent System Technology in a Port Container Terminal Automation Retrieved Cited January 2004, from http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw56/botti.html

Bradshaw, J. M. (1997). Software Agents: AAAI Press.Kahan, J., and Rapoport, A. (1984). Theories of Coalition Formation: Lawrence Erlbaum Assoiates.

Owen, G. (1968). Game theory. London: W. B. Saunders Company.

Rahwan, T., Ramchurn, S. D., Dang, V. D., Giovannucci, A., and Jennings, N. R. (2007). Anytime Optimal Coalition Structure Generation. Paper presented at the Proceeding of the 22nd Conference on Artificial Intelligence (AAAI), Vancouver Canada.

Rahwan, T., Ramchurn, S. D., Dang, V. D., and Jennings, N. R. (2007). Near-Optimal Anytime Coalition Structure Generation. Paper presented at the Proceeding of the 20th International Joint Conefrence on AI Hyderabad India.

Sandholm, T., Larson, K., Andersson, M., Shehory, O., and Tohme, F. (1999). Coalition structure generation with worst case guarantees. Artificial Intelligence 111: 209-238.

Sombattheera, C., and Ghose, A. (2006). A pruning-based algorithm for computing optimal coalition structures in linear production domains. Paper presented at the Proceedings of the 19th international conference on Advances in Artificial Intelligence: Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Canada.

Vidal, J. e. M. (2007). Fundamentals of Multiagent Systems Retrieved Cited January 2004 from http://www.damas.ift.ulaval.ca/~coursMAS/ComplementsH10/mas-Vidal.pdf

Weiss, G. (1999). Multiagent Systems. London: MIT Press Cambridge Massachusetts.

Wooldridge, M. (2002). An Introduction to Multiagent Systems. England: John Wiley & Sons Lt

❑❑❑❑❑