

ระบบควบคุมเกมแอคชั่นแนวยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่งที่พัฒนาระบบต่อประสานระหว่างสมองกับ  
คอมพิวเตอร์เข้าไปด้วย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BCI-integrated Game Control for Action FPS Games



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมเกมแอคชั่นแนวยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่งที่ผสมผสานระบบต่อประสานระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์เข้าไปด้วย
โดย	นายศุภชัย เต็งตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ โคตรจรัส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศุภชัย เต็งตระกูล : ระบบควบคุมเกมแอคชั่นแนวยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่งที่ผสานระบบต่อประสานระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์เข้าไปด้วย. ( BCI-integrated Game Control for Action FPS Games) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เศรษฐา ปานงาม

เทคโนโลยีการต่อประสานระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface: BCI) ที่ใช้สัญญาณ Electroencephalogram (EEG) เป็นเทคโนโลยี BCI ที่เหมาะกับการนำมาใช้ควบคุมเกมที่สุดเพราะความสะดวกและปลอดภัยต่อผู้ใช้ แต่แม้ว่าจะมีการศึกษาประเด็นนี้กันมานานหลายปี การออกแบบเกม BCI ก็ยังไม่สามารถก้าวข้ามจุดอ่อนพื้นฐานของสัญญาณ EEG ได้ ส่งผลให้ตัวเกมที่ออกมาจากระบบการเล่นที่น่าสนใจเมื่อเทียบกับเกมอื่นในท้องตลาด งานวิจัยชิ้นนี้จึงเสนอระบบควบคุมแบบใหม่ที่นำระบบ BCI ที่ใช้วิธีการจำแนก Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP) ที่ดีที่สุดในปัจจุบันอย่าง Riemannian มารวมกับอุปกรณ์ควบคุมอีก 3 อย่าง ได้แก่ คีย์บอร์ด (Keyboard) เมาส์ (Mouse) และเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง (Eye Tracker) นอกจากนี้งานวิจัยชิ้นนี้ยังเสนอเกมแอคชั่นแนวยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (Action First-person Shooter: Action FPS) ที่ถูกพัฒนามาให้ทำงานร่วมกับระบบควบคุมดังกล่าวเพื่อสร้างประสบการณ์การเล่นเกมด้วยระบบ BCI ที่ดียิ่งขึ้น โดยตัวเกมจะมี 3 ฟีเจอร์ (Features) สำคัญ ได้แก่ การชะลอเวลา การไฮไลต์ตัวกระตุ่น SSVEP ที่ถูกมองอยู่ และการออกคำสั่ง SSVEP ให้โดยอัตโนมัติเมื่อผู้เล่นไม่สามารถใช้ได้แล้ก็กับการไม่ได้รับของรางวัลบางอย่าง จากผลการทดสอบของผู้ร่วมทดสอบ 10 คนพบว่า ผู้ร่วมทดสอบทุกคนสามารถใช้คำสั่งผ่านเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองได้ดีในช่วงแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปกลับใช้คำสั่งได้ไม่ดีเท่าเดิม ส่วนการใช้คำสั่งผ่าน SSVEP ผลที่ออกมาแตกต่างกันอย่างมากในแต่ละคำสั่ง คำสั่งที่ผู้ร่วมทดสอบใช้สำเร็จด้วยตัวเองมากที่สุดมีโอกาสใช้สำเร็จอยู่ที่ 71% ส่วนคำสั่งที่ผู้ร่วมทดสอบใช้สำเร็จด้วยตัวเองน้อยที่สุดมีโอกาสเพียง 49% เท่านั้น โดยรวมแล้วระบบควบคุมนี้ถือว่ามีความสามารถเพียงพอที่จะนำไปใช้ควบคุมเกมแนว FPS ได้ แต่ยังคงต้องปรับปรุงเรื่องความคงที่ของประสิทธิภาพของระบบ BCI และทางเลือกเกี่ยวกับการควบคุมด้วยเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง และถึงแม้ว่าปัญหาเหล่านี้จะส่งผลให้ผู้ร่วมทดสอบไม่ได้รับความสะดวกสบายในการเล่นอยู่บ้าง แต่ผู้ร่วมทดสอบ 90% ก็ยังคงสนุกกับตัวเกมอยู่ เนื่องจากฟีเจอร์ของตัวเกมมีส่วนช่วยให้ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกว่ายังสามารถควบคุมเกมได้

สาขาวิชา      วิศวกรรมคอมพิวเตอร์      ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา    2563      ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6170289321 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORD: BCI, EEG, SSVEP, Riemannian-based Classifier, Games

Supachai Tengtrakul : BCI-integrated Game Control for Action FPS Games.

Advisor: Assoc. Prof. Dr. SETHA PAN-NGUM

Brain Computer Interface (BCI) that utilizes Electroencephalography (EEG) is the most suitable type of BCI for gaming application since it is easy and safe to use. However, despite years of research, the fundamental issues of EEG remain one of the most prominent problems for BCI game design, resulting in BCI games that look very lacking compared to other games in the market. This paper presents a new hybrid game control that combines a BCI that utilizes a state-of-the-art Riemannian-based classifier for Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP) classification with a mouse, a keyboard and an eye tracker. This paper also presents an action First-Person-Shooting (FPS) game that works together with the control to improve BCI game experience. This game features 3 essential mechanics: slowing down time, highlighting an SSVEP stimulus that is being looked at and activating an SSVEP command automatically if players fail to do so in exchange for not receiving some rewards. From the test result from 10 subjects, we found that all subjects can use eye tracker commands adequately at first, but the performance degraded over time. For SSVEP commands, the results vary greatly. The command that performed best had 71% manual activation rate, while the worst had merely 49%. Overall, the hybrid game control can be used to control FPS games, but the consistency of BCI's performance needs to be improved and more options regarding the eye tracker control need to be added. Although these issues caused some inconveniences for the subjects, 90% of them still found the game enjoyable since the game features helped them feel more in control.

Field of Study: Computer Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2020

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านการเสนอหัวข้อและจัดทำเป็นรูปเล่มสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ ผศ. ดร.เศรษฐา ปานงาม ที่ให้ความรู้ สนับสนุน และแนะนำแนวทางการวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้ง ดร.พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่เห็นถึงความน่าสนใจ ช่วยตรวจสอบ และให้คำติชมจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ออกมาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในส่วนการทดสอบต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.เศรษฐา ปานงาม รศ.ดร. วิษณุ โคตรจรัส และ รศ.ดร.ธราทิพย์ สุวรรณศาสตร์ ที่ช่วยจัดหาผู้ร่วมทดสอบ รวมทั้งผู้ร่วมทดสอบทุกท่านที่ยอมสละเวลามาเพื่อร่วมการทดสอบและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีแต่ไม่ได้ถูกกล่าวถึงใน ณ ที่นี้ด้วยเช่นกัน

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอัจฉริยะคืนรังจากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนส่วนตัวของ ผศ.ดร.เศรษฐา ปานงาม และอุปกรณ์จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

ศุภชัย เต็งตระกูล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

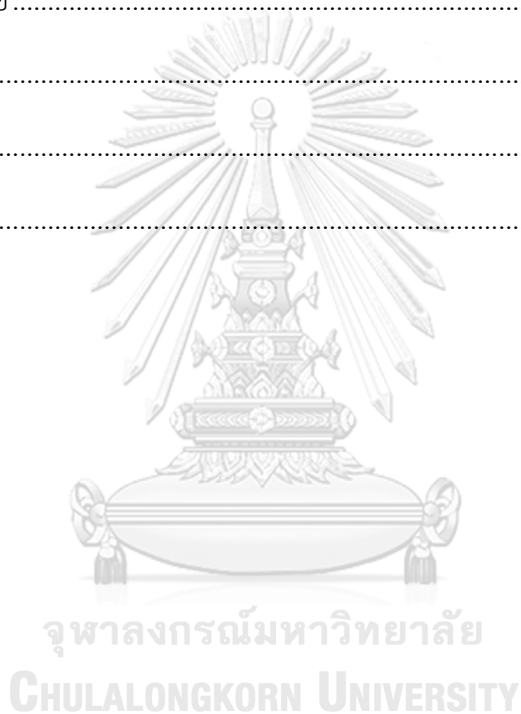
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1: บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย .....	2
1.6 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์จากการทำวิจัย .....	2
บทที่ 2: ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1.1 Electroencephalogram (EEG) .....	3
2.1.2 Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP).....	5
2.1.3 ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณ EEG .....	6
2.1.4 วิธีการจำแนกสัญญาณของโมเดล SSVEP .....	7
2.1.4.1 Canonical Correlation Analysis (CCA) .....	7
2.1.4.2 Minimum Distance to Riemannian Mean (MDRM).....	9

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2.1 ความก้าวหน้าของการควบคุมเกมด้วยระบบ BCI โมเดล SSVEP.....	11
2.2.2 วิธีการจำแนกสัญญาณแบบที่ดีกว่า CCA.....	14
2.2.3 การเลี้ยงข้อจำกัดของ SSVEP.....	15
2.2.4 การใช้ระบบ Hybrid BCI ในการควบคุมเกม.....	17
บทที่ 3: วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 การบันทึกสัญญาณ EEG.....	19
3.2 การพัฒนาตัวประมวลผลสัญญาณ EEG.....	19
3.3 การออกแบบและพัฒนาเกม.....	20
3.3.1 การออกแบบเกม.....	20
3.3.1.1 วิธีการออกคำสั่งที่ต้องมีในตัวเกม.....	21
3.3.1.1.1 ประเภทการเคลื่อนไหวของตัวละคร.....	22
3.3.1.1.2 ประเภทการใช้อาวุธ.....	23
3.3.1.1.3 ประเภทการใช้ไอเท็มหรือความสามารถพิเศษ.....	25
3.3.1.1.4 ประเภทการมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม.....	26
3.3.1.1.5 ประเภทเมนูภายในเกม.....	26
3.3.1.1.4 สรุปวิธีการออกคำสั่งในตัวเกม.....	27
3.3.1.2 พีเจอร์ที่ช่วยการควบคุมด้วยระบบ BCI.....	27
3.3.1.3 รูปแบบของตัวเกม.....	27
3.3.2 การออกแบบตัวกระตุ้น SSVEP.....	30
3.3.3 การเชื่อมต่อระบบควบคุมเข้ากับตัวเกม.....	33
3.3.4 การออกแบบการตรวจจับการกะพริบตาข้างเดียว.....	35
3.3.5 การออกแบบการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณ.....	36
3.4 การทดสอบและประเมินผล.....	37



บทที่ 4: ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล .....	41
4.1 ผลการทดสอบเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง .....	41
4.2 ผลการทดสอบระบบ BCI .....	42
4.3 ผลการทดสอบเมื่อเล่นจริง .....	44
4.4 ผลการตอบแบบสอบถาม .....	45
บทที่ 5: สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	49
บรรณานุกรม .....	50
ประวัติผู้เขียน .....	57



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1: รายชื่องานวิจัยที่นำระบบ BCI ที่ใช้สัญญาณ SSVEP มาควบคุมเกมจนถึงปี 2018 [1]..	12
ตารางที่ 2: รายชื่องานวิจัยที่นำระบบ Pure Hybrid BCI มาควบคุมเกมตามรายงานของ Kerous และคณะในปี 2017 [1] .....	18
ตารางที่ 3: ผลการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในการควบคุม.....	41
ตารางที่ 4: ผลการทดสอบคำสั่งที่ไม่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในการควบคุม.....	42
ตารางที่ 5: จำนวนคำสั่งที่ใช้โดยไม่ได้ตั้งใจระหว่างการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง.....	42
ตารางที่ 6: ผลการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้ BCI ในการควบคุม.....	43
ตารางที่ 7: ผลการทดสอบเมื่อเล่นจริง .....	44
ตารางที่ 8: ผลการตอบแบบสอบถาม.....	46
ตารางที่ 9: ผลการตอบแบบสอบถามในหัวข้อ Tension โดยแยกการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 กลุ่ม 47	

## สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 1: ลักษณะของสัญญาณ EEG [8].....	3
รูปที่ 2: ตำแหน่งการติดขั้วไฟฟ้าตามมาตรฐาน 10-20 [9].....	4
รูปที่ 3: ลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณ EEG ที่ตรวจพบ SSVEP [14].....	5
รูปที่ 4: ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณ EEG .....	6
รูปที่ 5: การจำแนกประเภทข้อมูลโดยใช้ Minimum Distance to Riemannian Mean [20].....	10
รูปที่ 6: แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แบบต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ใน งานวิจัยด้านเกมจนถึงปี 2017 [1].....	11
รูปที่ 7: เกมที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ Cruz และคณะในปี 2018 [37].....	13
รูปที่ 8: ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคำสั่ง SSVEP ในงานวิจัยของ Cruz และคณะในปี 2018 [37].....	14
รูปที่ 9: ผลการทดสอบในงานวิจัยของ Kalunga และคณะในปี 2016 [16].....	15
รูปที่ 10: เกมที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ Kos' Myna กับ Tarpin-Bernard ในปี 2013 [28]....	16
รูปที่ 11: การควบคุมโปรแกรมพิมพ์ข้อความแบบต่าง ๆ ในงานวิจัยของ Stawicki และคณะในปี 2017 [41].....	17
รูปที่ 12: อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ EEG รุ่น g.SAHARA [44].....	19
รูปที่ 13: อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ EEG รุ่น g.MOBILAB+ [45] .....	19
รูปที่ 14: HUD ที่บอกว่าผู้เล่นสามารถวิ่งได้อีกนานเท่าใดจากเกม Crysis 3 [51].....	22
รูปที่ 15: HUD ที่บอกสถานะการยืนหรือย่อ และภารกิจแบบลอบเร้นจากเกม Call of Duty: World at War [52].....	23
รูปที่ 16: การเอาระเบิดขึ้นมาถือในมือก่อนปาลจากเกม Counter-Strike: Global Offensive [53]	23
รูปที่ 17: QTE จากเกม Battlefield 3 [54].....	24
รูปที่ 18: HUD ที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับอาวุธและความสามารถพิเศษจากเกม Destiny 2 [55].....	25

รูปที่ 19: วงล้ออาวุธจากเกม Doom: Eternal [56].....	25
รูปที่ 20: การปาระเบิดด้วยปืนลัดในเกม Halo 3 [57].....	26
รูปที่ 21: ภาพจากเกม Core Defender.....	28
รูปที่ 22: เมนูเลือกโหมดโรเฟิลจูงใจของเกม Core Defender.....	29
รูปที่ 23: ตัวกระตุ้นแบบแสง [37].....	31
รูปที่ 24: ตัวกระตุ้นแบบกราฟิกเดี่ยว [12].....	31
รูปที่ 25: ตัวกระตุ้นแบบสลับลวดลาย [12].....	31
รูปที่ 26: ตัวอย่างการใช้กราฟิกแบบขาว-ดำในเกม [58].....	32
รูปที่ 27: ตัวกระตุ้น SSVEP ของคำสั่งต่าง ๆ ในเกม Core Defender.....	33
รูปที่ 28: การไฮไลต์ตัวกระตุ้น SSVEP ในเกม Core Defender.....	33
รูปที่ 29: การเชื่อมต่อระบบควบคุมเข้ากับตัวเกม.....	35
รูปที่ 30: การปรับแต่งค่าเกี่ยวกับการตรวจจัดการกะพริบตาข้างเดียวในหน้าเมนูหลักของ Core Defender.....	36
รูปที่ 31: กระบวนการสร้างโปรไฟล์ของ Tobii.....	37
รูปที่ 32: กระบวนการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณ.....	38

## บทที่ 1: บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การต่อประสานระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface: BCI) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ได้โดยใช้สัญญาณคลื่นสมอง ซึ่งที่ผ่านมาในบรรดาสัญญาณคลื่นสมองประเภทต่าง ๆ Electroencephalogram (EEG) เป็นประเภทที่งานวิจัยนิยมนำมาศึกษาเพื่อสร้างระบบ BCI สำหรับการเล่นเกมมากที่สุด [1] เนื่องจากสามารถตรวจวัดได้ง่ายและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ [2-4] จนกระทั่งเทคโนโลยีนี้สามารถนำมาวางขายในท้องตลาดได้แล้วในปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ MindWave Mobile จากบริษัท NeuroSky เป็นต้น [5] ทว่าการใช้งานนั้นยังจำกัดอยู่เพียงการใช้เพื่อเล่นเกมที่ผู้เล่นต้องออกคำสั่งเพียงไม่กี่คำสั่งเท่านั้น ยังไม่มีความพยายามในการทดลองนำระบบ BCI มาใช้ในการควบคุมเกมที่ผู้เล่นต้องออกคำสั่งซับซ้อนมากขึ้นอย่างเกมทั่วไปที่วางขายในท้องตลาด [1]

ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าระบบ BCI ที่ใช้การตีความคำสั่งจากสัญญาณ EEG ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่างที่ทำให้ในปัจจุบันยังไม่มีโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แบบใดที่สามารถนำไปใช้ควบคุมเกมที่มีระบบการเล่นซับซ้อนได้โดยลำพัง นอกจากนั้นที่ผ่านมานงานวิจัยด้านนี้ยังมีจุดมุ่งหมายหลัก ๆ อยู่เพียง 2 อย่างเท่านั้น คือเพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ (Proof-of-Concept) ของการนำโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แต่ละโมเดลมาควบคุมเกม กับเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้พิการ [1] ซึ่งทำให้การศึกษาเรื่องการเพิ่มศักยภาพของระบบ BCI สำหรับการควบคุมเกมด้วยการนำมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ ที่ทำงานได้ดีสำหรับผู้ไม่พิการถูกละเลยเป็นอย่างมาก [1]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นโอกาสที่จะทำการศึกษารองการนำระบบ BCI มาช่วยควบคุมเกมที่มีระบบการเล่นซับซ้อนมากขึ้น ด้วยการนำระบบ BCI ที่ใช้สัญญาณ EEG มาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ แล้วนำระบบควบคุมที่ได้มาควบคุมหนึ่งในเกมแนวที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบัน [6] อย่างเกมแอคชั่นแนวยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (Action First-person Shooter: Action FPS) ซึ่งทางผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลลัพธ์ที่ได้ จะเป็นระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจพอให้วงการวิจัยนำไปเป็นต้นแบบในการศึกษาต่อเพื่อปรับปรุงหรือประยุกต์ใช้กับเกมแนวอื่น ๆ ในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงประสบการณ์การเล่นเกมนด้วยระบบ BCI ให้ดีขึ้น ด้วยการพัฒนาระบบควบคุมเกมที่น่าความสามารถของอุปกรณ์อินพุต (Input) อื่น ๆ เข้ามาเสริมการทำงานของระบบ BCI แล้วนำมาเล่นเกมแนวที่ได้รับความนิยมอย่าง FPS ที่ถูกออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับระบบควบคุมนี้โดยเฉพาะ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ระบบควบคุมเกมนี้อาจจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ BCI คีย์บอร์ด เมาส์ และเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง
2. ระบบ Hybrid BCI ที่ใช้ในระบบควบคุมเกมนี้อาจจะสามารถทำงานได้แบบทันที (Real-time)
3. เกมที่นำมาทดสอบในงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นเกมแนว Action FPS ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเอง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ความสำเร็จของงานวิจัยชิ้นนี้จะทำให้เกิดการค้นพบระบบควบคุมเกมแบบใหม่ที่งานวิจัยอื่นสามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้ควบคุมเกมแนวอื่นนอกเหนือจากเกมแนว FPS ได้ ซึ่งผู้วิจัยหวังว่านี่จะเป็นตัวจุดประกายให้วงการวิจัยด้านระบบ BCI สำหรับเกมหันมาสนใจเรื่องระบบ Hybrid BCI มากขึ้น และนำไปสู่วิธีการควบคุมเกมแบบใหม่ที่ได้รับการยอมรับจากทั้งตลาดและอุตสาหกรรมเกมในอนาคต

### 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเกมด้วยระบบ BCI
- 2) ออกแบบและพัฒนาตัวเกม
- 3) เชื่อมต่อเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเข้ากับตัวเกม
- 4) พัฒนาตัวประมวลผลสัญญาณ
- 5) เชื่อมต่อตัวประมวลผลสัญญาณเข้ากับตัวเกม
- 6) ออกแบบและจัดทำแบบสอบถามเกี่ยวกับประสบการณ์การเล่น
- 7) หาอาสาสมัครมาเป็นผู้ร่วมทดสอบ
- 8) ทำการทดสอบระบบควบคุมเมื่อนำมาใช้เล่นเกมจริงและให้ผู้ร่วมทดสอบตอบแบบสอบถาม
- 9) สรุปผลการวิจัย

### 1.6 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์จากการทำวิจัย

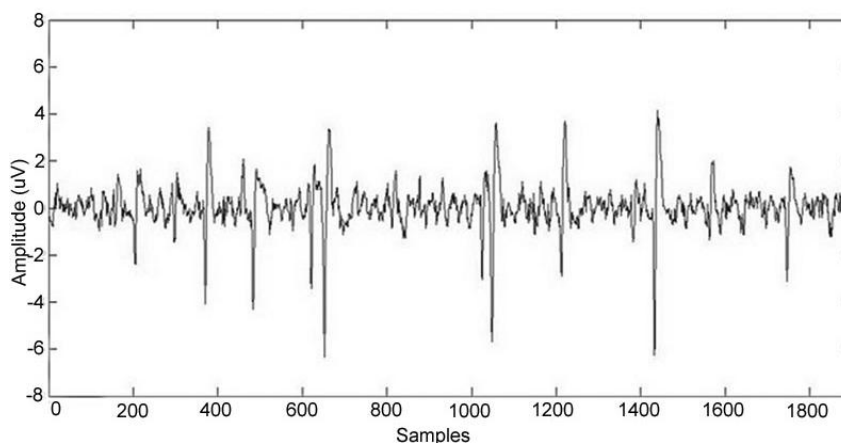
บทความวิจัยชื่อ “Hybrid Control and Game Design for BCI-integrated Action FPS Game” ในหนังสือสรุปรประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The Thirteenth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2020) ในวันที่ 21-25 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2563 [7]

## บทที่ 2: ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

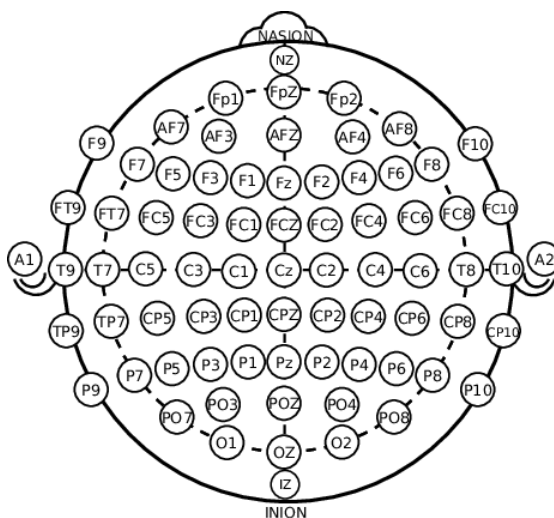
#### 2.1.1 Electroencephalogram (EEG)

Electroencephalogram (EEG) คือบันทึกที่บอกความเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์ประสาทของสมองตามที่แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งวิธีการได้มามีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การติดขั้วไฟฟ้า (Electrode) บนหนังศีรษะ กับการติดขั้วไฟฟ้าบนเปลือกสมอง (Cerebral Cortex) โดยตรง แต่โดยมากแล้วเมื่อกล่าวถึงสัญญาณ EEG ก็มักจะเป็นการกล่าวถึงสัญญาณ EEG ที่ได้มาจากวิธีแรกเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่แพร่หลายเพราะเป็นวิธีแบบ Non-invasive ที่สามารถทำได้ง่ายและทำได้หลายครั้งโดยไม่ส่งผลเสียต่อผู้ที่ถูกทดสอบ [2-4]



รูปที่ 1: ลักษณะของสัญญาณ EEG [8]

เนื่องจากแต่ละคนมีขนาดศีรษะไม่เท่ากันและสมองแต่ละส่วนก็ทำหน้าที่ไม่เหมือนกัน ทำให้สัญญาณ EEG ที่ได้จากตำแหน่งต่าง ๆ บนหนังศีรษะแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการสื่อสารเรื่องตำแหน่งการติดขั้วไฟฟ้าให้ใช้ได้กับทุกคนจึงเป็นเรื่องสำคัญ ทำให้เกิดมาตรฐานที่มีชื่อว่า 10-20 ขึ้น โดยมาตรฐานนี้จะกำหนดให้ตำแหน่งการติดขั้วไฟฟ้าที่อยู่ข้างกันมีระยะห่างกันประมาณ 10-20% ของระยะห่างระหว่างแลนดมาร์ค (Landmark) บนหนังศีรษะ [2] และแต่ละตำแหน่งก็จะถูกกำหนดชื่อด้วยบริเวณของหนังศีรษะที่จุดนั้นอยู่ตามด้วยตัวเลขหรือตัวอักษร “Z” ดังที่เห็นได้จากรูปที่ 2 (ในกรณีที่อยู่ตรงกลางสามารถใช้ตัวเลข 0 หรือตัวอักษร “Z” ก็ได้)



รูปที่ 2: ตำแหน่งการติดตั้งไฟฟ้าตามมาตรฐาน 10-20 [9]

- สมองส่วนหน้าบริเวณหน้าผาก (Frontal Pole: Fp)
- สมองส่วนหน้า (Frontal Lobe: F)
- สมองส่วนขมับ (Temporal Lobe: T)
- สมองส่วนกลาง (Central Lobe: C)
- สมองส่วนบน (Parietal Lobe: P)
- สมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe: O)

โมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG มีอยู่ทั้งหมด 2 ประเภทด้วยกัน คือโมเดลที่ใช้สัญญาณ EEG ที่เกิดจากการตอบสนองต่อตัวกระตุ้น (Event-Related Potential: ERP) กับโมเดลที่ใช้สัญญาณ EEG ที่ตรวจวัดได้ตามปกติโดยไม่ใช้ตัวกระตุ้นตัวใด (Spontaneous EEG) [2] ซึ่งในส่วนของโมเดลที่ต้องใช้ตัวกระตุ้นนั้นตัวกระตุ้นสามารถเป็นได้ทั้งตัวกระตุ้นภายนอกและตัวกระตุ้นภายใน [3] เช่น สัญญาณไฟจราจร การแจ้งเตือนบนสมาร์ตโฟน หรือการกระทำบางอย่างของร่างกายที่ทำให้สมองมีปฏิกิริยาตอบสนองโดยอัตโนมัติอย่างการขยับกล้ามเนื้อบนใบหน้า เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดจากตัวกระตุ้นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น P300 ที่เกิดจากการที่สมองรับรู้และทำการแยกแยะตัวกระตุ้น mVEP ที่เกิดจากการที่สมองรับรู้ถึงการเคลื่อนไหวของตัวกระตุ้น หรือ SSVEP ที่กำลังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เป็นต้น ส่วนโมเดลที่ไม่ต้องใช้ตัวกระตุ้นนั้นจะมีเพียงสัญญาณทั่วไปที่ใช้บ่งบอกถึงอารมณ์และสถานะของสมองในปัจจุบัน กับสัญญาณที่ตรวจวัดได้เมื่อสมองกำลังจินตนาการถึงการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ (Motor Imagery) อยู่เท่านั้น [1]

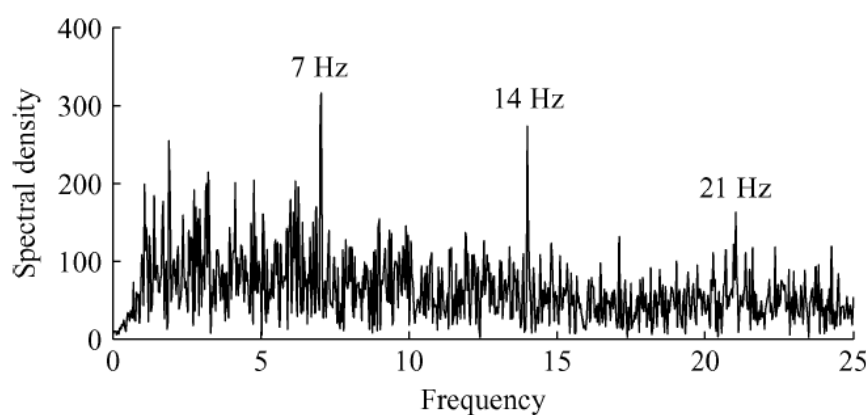
ข้อจำกัดหลัก ๆ ของสัญญาณ EEG มีอยู่ 3 อย่างด้วยกัน อย่างแรกคือรูปแบบของสัญญาณที่นำมาตีความเป็นคำสั่งได้ยังคงค่อนข้างจำกัด [1] จากที่ได้กล่าวไปในข้างต้นจะเห็นว่าผู้ใช้ระบบ BCI จะต้องจินตนาการถึงการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ หรือตอบสนองต่อตัวกระตุ้นต่าง ๆ เท่านั้นจึงจะ



สามารถออกคำสั่งได้ อย่างที่สองคือสัญญาณที่ได้มักจะมีสัญญาณปนเปื้อน (Artifact) ติดมาด้วยเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็น การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ, การเคลื่อนไหวของดวงตา, สนามแม่เหล็กภายนอก, การติดขั้วไฟฟ้าไม่ดี, ฯลฯ [2] และอย่างสุดท้ายคือความแตกต่างของสัญญาณ EEG ระหว่างบุคคลหรือแม้กระทั่งบุคคลเดียวกันแต่ต่างช่วงเวลากัน ซึ่งทำให้ผู้พัฒนาจำเป็นต้องสร้างตัวประมวลผลสัญญาณที่สามารถฝึกตัวเองให้ตีความคำสั่งจากสัญญาณของผู้ใช้คนปัจจุบันได้เสมอ นอกจากนั้นความแตกต่างที่ว่ายังทำให้เกิดกลุ่มคนจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถใช้งานระบบ BCI ได้อย่างสิ้นเชิง เรียกว่าปรากฏการณ์ BCI Illiteracy ที่แม้แต่ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถสรุปถึงสาเหตุที่แน่ชัดได้ [4]

### 2.1.2 Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP)

SSVEP เป็นการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าในเซลล์สมองที่แสดงออกอย่างต่อเนื่องตรงบริเวณสมองส่วนท้ายทอยในขณะที่คนกำลังมุ่งความสนใจไปยังตัวกระตุ้นที่กำลังกะพริบอยู่ด้วยความถี่ตั้งแต่ 6Hz ขึ้นไป [10] SSVEP จึงจัดว่าเป็น ERP ประเภทหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวจะทำให้เกิดคลื่นสมองที่มีลักษณะคล้ายกับคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับฮาร์มอนิก (Harmonic) ของตัวกระตุ้น ทำให้เมื่อไปดูสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณ EEG แล้วจะพบว่าคลื่นสมองในช่วงความถี่ดังกล่าวมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าคลื่นสมองในช่วงความถี่อื่น ๆ อย่างชัดเจนตามที่แสดงในรูปที่ 3 แต่ถึงกระนั้นก็ไม่ได้หมายความว่าทุกความถี่ที่มากกว่า 6Hz จะสามารถใช้ได้ เพราะยิ่งความถี่สูงเท่าใดความแตกต่างของค่าแอมพลิจูดก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น [11] ดังนั้นงานวิจัยส่วนมากจึงนิยมใช้ความถี่ในช่วง 12 - 25Hz เท่านั้น [12] โดยความถี่ที่จะให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise Ratio: SNR) สูงสุดจะอยู่ที่ 15Hz [13]



รูปที่ 3: ลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณ EEG ที่ตรวจพบ SSVEP [14]

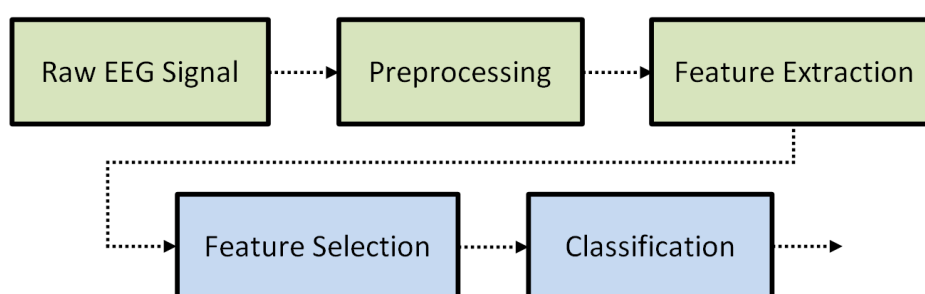
การที่ SSVEP มีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวไปนั้นทำให้ระบบ BCI ที่ใช้โมเดล SSVEP มีข้อดีอยู่ 4 อย่างด้วยกัน อย่างแรกคือโมเดลนี้สามารถรองรับคำสั่งได้หลายคำสั่ง และยังสามารถรองรับคำสั่งที่

มีลักษณะเหมือนกับการกดปุ่มค้างได้อีกด้วยจากการที่ SSVEP แสดงออกมาได้อย่างต่อเนื่องตราบใดที่ผู้ใช้อย่างคงมุ่งความสนใจไปยังตัวกระตุ้นอยู่ อย่างที่สองคือมีอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Information Transfer Rate) และความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง [15] อย่างที่สามคือมีอัตราการเกิดปรากฏการณ์ BCI Illiteracy ต่ำ [15] และอย่างสุดท้ายคือระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณของโมเดลนี้ค่อนข้างสั้น หรือในบางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องฝึกเลยก็ได้ [11] ซึ่งข้อดีทั้งหมดนี้ทำให้โมเดล SSVEP กลายเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่น่าสนใจที่สุดสำหรับการพัฒนาระบบ BCI ในยุคปัจจุบัน

แต่ถึงกระนั้นโมเดล SSVEP ก็ยังมีข้อจำกัดหลัก ๆ อยู่ 3 อย่างด้วยกัน อย่างแรกคือโมเดลนี้ไม่สามารถนำมาใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครในเกมที่การเคลื่อนไหวของตัวละครต้องอาศัยการควบคุมทิศทาง การเดิน และการมองไปพร้อม ๆ กันได้ อย่างที่สองคือความแม่นยำในการจำแนก SSVEP จำนวน 2 ความถี่ขึ้นไปของตัวประมวลผลสัญญาณที่เร็วที่สุดของโมเดลนี้ในปัจจุบันยังต่ำกว่า 75% อยู่ [16] ซึ่งส่งผลให้จำนวนคำสั่งที่สามารถใช้ได้โปรแกรมเดียวถูกจำกัดอย่างมากในกรณีที่ผู้พัฒนาต้องการพัฒนาระบบ BCI ที่มีความเร็วในการตอบสนองสูง ส่วนอย่างสุดท้ายคือการกะพริบของตัวกระตุ้นที่อาจส่งผลให้ผู้ใช้กลุ่มผู้สูงอายุเกิดความรำคาญ [4] หรือบางส่วนก็อาจมีปฏิกิริยารุนแรงจนถึงขั้นเกิดอาการลมชัก ดังนั้นการใช้งานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงภูมิหลังด้านสุขภาพของผู้ใช้ด้วยเสมอ [17]

### 2.1.3 ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณ EEG

โดยทั่วไปสัญญาณ EEG แบบดิบที่ตรวจวัดได้จะต้องผ่านขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณ 4 ขั้นตอนตามที่แสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4: ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณ EEG

- การประมวลผลขั้นต้น (Preprocessing): สัญญาณดิบที่ได้จะต้องผ่านตัวกรอง (Filter) ต่าง ๆ เพื่อเตรียมสัญญาณให้พร้อมสำหรับการใช้งานในขั้นตอนต่อไป ตัวกรองที่มักจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ก็อย่างเช่น ตัวกรองช่วงความถี่ (Band-Pass Filter), ตัวกรองความถี่สูง (High-Pass Filter), ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter), ตัวกรองสัญญาณรบกวน (Spatial Filter) เป็นต้น

- การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction): สัญญาณที่ผ่านการประมวลผลในขั้นต้นจะถูกนำมาตัดเป็นช่วงสัญญาณก่อนจะนำเข้าสู่การประมวลผลเพื่อหาคุณลักษณะบางอย่างที่ซ่อนอยู่ภายในคุณลักษณะนี้อาจซ่อนอยู่ในโดเมนของเวลา (Time Domain), โดเมนของความถี่ (Frequency Domain), ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ได้มาจากช่องสัญญาณต่าง ๆ, ฯลฯ ซึ่งคุณลักษณะที่ได้ก็จะถูกนำไปใช้ในการจำแนกประเภทสัญญาณต่อไป

- การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection): ขั้นตอนนี้จะจำเป็นสำหรับการจำแนกสัญญาณโดยใช้คุณลักษณะต่าง ๆ จำนวนมาก โดยตัวประมวลผลสัญญาณจะต้องเรียนรู้ก่อนว่าคุณลักษณะใดมีความสำคัญมากกว่า เพื่อให้การประมวลผลสัญญาณในครั้งต่อ ๆ ไปสามารถทำได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

- การจำแนก (Classification): คุณลักษณะของสัญญาณที่ได้จะถูกนำมาใช้เพื่อจำแนกกว่าสัญญาณที่เข้ามาควรจัดอยู่ในประเภทใด โดยวิธีการจำแนกนั้นมักจะใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการฝึกตัวจำแนกสัญญาณให้ทราบว่าคุณลักษณะแต่ละประเภทของผู้ใช้คนปัจจุบันควรมีค่าคุณลักษณะต่าง ๆ เป็นอย่างไร

#### 2.1.4 วิธีการจำแนกสัญญาณของโมเดล SSVEP

วิธีการจำแนกสัญญาณของโมเดล SSVEP ที่น่าสนใจจะมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ Canonical Correlation Analysis (CCA) กับ Minimum Distance to Riemannian Mean (MDRM) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน และจะส่งผลต่อรายละเอียดในขั้นตอนต่าง ๆ ของการประมวลผลสัญญาณ EEG ดังนี้

##### 2.1.4.1 Canonical Correlation Analysis (CCA)

CCA เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจำนวน 2 เซต [18] ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาตัวประมวลผลสัญญาณของโมเดล SSVEP ในงานวิจัยจำนวนมาก แต่เนื่องจากวิธีการทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณที่ใช้วิธี CCA แต่ละตัวอาจไม่เหมือนกัน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงจะขอยกตัวอย่างวิธีการของ Lin และคณะในปี 2006 [18] เพื่อแสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานคร่าว ๆ ดังนี้

ขั้นแรกจะเริ่มจากการเตรียมข้อมูลเซตแรก ( $X$ ) ด้วยการนำสัญญาณ EEG ที่ได้จากหลายช่องสัญญาณมาผ่านการประมวลผลขั้นต้นแล้วจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ตามสมการที่ 1

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1S} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2S} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3S} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & x_{N3} & \cdots & x_{NS} \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดย: -  $x_{NS}$  เป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ EEG จากช่องสัญญาณ N ตัวอย่างที่ S

ส่วนข้อมูลเซตที่สอง (  $Y$  ) จะเป็นเมทริกซ์ที่เกิดจากการแทนค่าสมการคลื่นที่มีความถี่ตรงกับฮาร์มอนิกของตัวกระตุ้น ซึ่งถูกเตรียมไว้ล่วงหน้าแล้วตามสมการที่ 2

$$Y = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \\ y_6(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(2\pi ft) \\ \cos(2\pi ft) \\ \sin(4\pi ft) \\ \cos(4\pi ft) \\ \sin(6\pi ft) \\ \cos(6\pi ft) \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดย: -  $f$  เป็นความถี่ของตัวกระตุ้น

-  $t$  เป็นเวลาที่ตัวอย่างสัญญาณถูกเก็บซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{S}, \frac{2}{S}, \frac{3}{S}, \dots, \frac{T}{S}$

-  $T$  เป็นจำนวนตัวอย่างสัญญาณทั้งหมด

-  $S$  เป็นความถี่ในการเก็บตัวอย่าง (Sampling Rate)

เมื่อได้ข้อมูลทั้ง 2 เซตมาแล้วให้ทำการสร้างผลรวมเชิงเส้น (Linear Combination) ขึ้นมา 2 เซต โดยเซตแรก (  $U$  ) จะสร้างขึ้นจากแต่ละคอลัมน์ของข้อมูลเซต  $X$  ส่วนเซตที่สอง (  $V$  ) จะสร้างขึ้นจากแต่ละคอลัมน์ของข้อมูลเซต  $Y$  ซึ่งสมาชิกแต่ละตัวของ  $U$  กับ  $V$  จะจับคู่กัน  $U_1$  คู่กับ  $V_1$ ,  $U_2$  คู่กับ  $V_2$ ,  $U_3$  คู่กับ  $V_3$  เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงคู่สุดท้ายคือ  $U_T$  กับ  $V_T$

ขั้นต่อไปคือการหาค่าสัมประสิทธิ์ของผลรวมเชิงเส้นแต่ละคู่ โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะต้องทำให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างผลรวมเชิงเส้นคู่นั้นมีค่าสูงสุด ซึ่งนั่นก็คือค่าสัมประสิทธิ์จะต้องทำให้เงื่อนไขทั้งหมดในสมการที่ 3 เป็นจริง

$$\begin{aligned}
\text{var}(U_i) &= \text{var}(V_i) = 1 \\
\text{cov}(U_1, U_i) &= \text{cov}(V_1, V_i) = 0 \\
\text{cov}(U_2, U_i) &= \text{cov}(V_2, V_i) = 0 \\
&\vdots \\
\text{cov}(U_{i-1}, U_i) &= \text{cov}(V_{i-1}, V_i) = 0 \\
\text{cov}(U_1, V_i) &= \text{cov}(U_i, V_1) = 0 \\
\text{cov}(U_2, V_i) &= \text{cov}(U_i, V_2) = 0 \\
&\vdots \\
\text{cov}(U_{i-1}, V_i) &= \text{cov}(U_i, V_{i-1}) = 0 \quad (3)
\end{aligned}$$

โดย: -  $\text{var}(-)$  คือการหาค่าความแปรปรวน (Variance) ของข้อมูล

-  $\text{cov}(-,-)$  คือการหาค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance) ของข้อมูล

ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดในหมู่ผลรวมเชิงเส้นทุกคู่จะเป็นสิ่งที่บอกความเป็นไปได้ของการตรวจพบ SSVEP ความถี่ใด ๆ ดังนั้นถ้าหากเซตข้อมูล  $Y$  ที่ได้จากความถี่  $f$  เป็นเซตที่เมื่อนำมาประมวลผลกับเซตข้อมูล  $X$  แล้วทำให้ได้ค่าความเป็นไปได้สูงสุด ก็จะถือว่าตรวจพบ SSVEP ความถี่  $f$  ในช่วงสัญญาณปัจจุบัน

การจำแนกสัญญาณด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพกว่าการจำแนกสัญญาณด้วยวิธีที่เก่ากว่าอย่างการดูสเปกตรัม เนื่องจากวิธีการดูสเปกตรัมจะใช้สัญญาณจากช่องสัญญาณเดียว ในขณะที่วิธีนี้จะใช้สัญญาณจากหลายช่องสัญญาณทำให้สามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า [19] แต่ถึงกระนั้นวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่ไม่สามารถคัดแยกสัญญาณที่ไม่มี SSVEP อยู่เลยได้ นั่นหมายความว่าถ้าหากมีจังหวะหนึ่งที่ใช้ไม่ต้องการออกคำสั่งใดเลย ผู้พัฒนาก็จำเป็นต้องอาศัยคำสั่งจากภายนอกเข้ามาปิดการทำงานของระบบ BCI ชั่วขณะ ก่อนจะใช้คำสั่งจากภายนอกเข้ามาเปิดการทำงานของระบบ BCI อีกครั้งเมื่อผู้ใช้ต้องการกลับมาออกคำสั่ง [16]

#### 2.1.4.2 Minimum Distance to Riemannian Mean (MDRM)

MDRM จัดเป็นหนึ่งในวิธีการจำแนกสัญญาณประเภท Riemannian Geometry-based Classification ซึ่งใช้จำแนกสัญญาณ EEG ที่ถูกแมพลองบนปริภูมิทรงเรขาคณิตประเภท Riemannian Manifold [20]

การทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณที่ใช้วิธี MDRM จะเริ่มจากการนำสัญญาณ EEG ที่ได้จากหลายช่องสัญญาณมาผ่าน Band-Pass Filter เพื่อกรองเอาเฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการคัดแยกทั้งหมดรวมถึงสัญญาณในช่วงความถี่ที่เป็นฮาร์มอนิกของความถี่เหล่านั้น เช่น ถ้าต้องการคัดแยกสัญญาณเป็น 3 ประเภท คือ 15Hz, 17Hz และ 21Hz ก็ต้องกรองเอาเฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ 14.95 - 15.05Hz, 29.95 - 30.05Hz (ฮาร์มอนิกของ 15Hz), 16.95 - 17.05Hz,

33.95 - 34.05Hz (ฮาร์มอนิกของ 17Hz), 20.95 - 21.05Hz และ 41.95 - 42.05Hz (ฮาร์มอนิกของ 21Hz) เป็นต้น จากนั้นก็นำสัญญาณจากแต่ละช่องสัญญาณมาตัดเป็นช่วงตามความยาวตามที่ต้องการและจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ตามสมการที่ 4 [16]

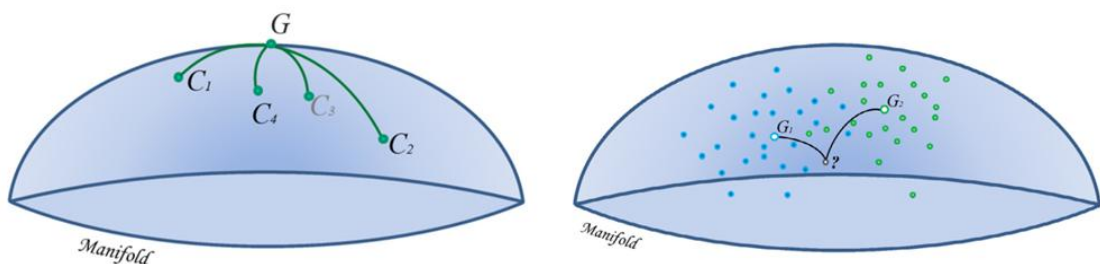
$$X = \begin{bmatrix} X_{\text{freq } 1} \\ X_{\text{freq } 2} \\ \vdots \\ X_{\text{freq } F} \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดย: -  $X_{\text{freq } F}$  เป็นเมทริกซ์แนวนอน  $[X_{1 \text{ freq } F}, X_{2 \text{ freq } F}, X_{3 \text{ freq } F}, \dots, X_{n \text{ freq } F}]$

-  $X_{n \text{ freq } F}$  เป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่  $F$  ตัวอย่างที่  $n$

เมทริกซ์  $X$  จากแต่ละช่องสัญญาณจะถูกนำมาต่อกันในแนวตั้งเพื่อสร้างเป็นเมทริกซ์ใหม่ หลังจากนั้นเมทริกซ์ที่ได้ก็จะถูกนำไปคำนวณต่อเพื่อหาคุณลักษณะที่เรียกว่าเมทริกซ์ค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance Matrix) [16] ซึ่งขั้นตอนนี้จะเปรียบได้กับแมพสัญญาณ EEG ลงบน Riemannian Manifold แบบหนึ่งที่เราเรียกว่า Symmetric Positive Definite (SPD) Matrices Manifold [20]

ในขั้นตอนการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณ จุดต่าง ๆ บน SPD Manifold ที่มาจาก SSVEP ความถี่เดียวกันจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาจุด ๆ หนึ่งที่เป็นตัวแทนของความถี่หรือคลาส (Class) นั้น ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 5 ฝั่งซ้าย และเมื่อนำมาใช้งานจริง จุดที่เป็นตัวแทนก็จะถูกนำมาใช้เพื่อคาดการณ์ว่าจุดใหม่ที่เข้ามาจะอยู่ในคลาสใดด้วยการดูว่าจุดใหม่นั้นอยู่ใกล้กับจุดตัวแทนใดมากที่สุดตามที่แสดงในรูปที่ 5 ฝั่งขวา และเมื่อเพิ่มจุดใหม่เข้าไปในคลาสแล้ว จุดตัวแทนของคลาสนั้นก็จะอัปเดตตำแหน่งของตัวเองโดยคำนึงถึงตำแหน่งของจุดใหม่ที่เพิ่งเพิ่มเข้าไปด้วย [16]

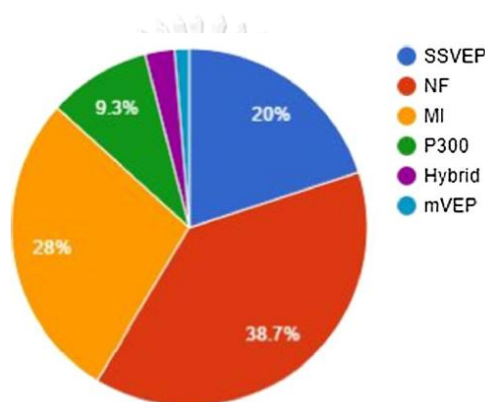


รูปที่ 5: การจำแนกประเภทข้อมูลโดยใช้ Minimum Distance to Riemannian Mean [20]

การจำแนกสัญญาณด้วยวิธีนี้มีข้อดีอยู่ที่สามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีเช่นเดียวกับวิธีแบบ CCA และสามารถตรวจจับสัญญาณที่ไม่มี SSVEP อยู่เลยได้ [16] แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่วิธีนี้จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อใช้ช่องสัญญาณจำนวนไม่มากนัก [20]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบ BCI สำหรับการควบคุมเกมถือว่าเป็นระบบ BCI ที่มีความท้าทายในการพัฒนาอย่างมาก เนื่องจากจะต้องใช้งานง่าย ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และตอบสนองได้อย่างแม่นยำ จึงจะสามารถให้ประสบการณ์การเล่นที่ดีกับผู้เล่นได้ [1] ตลอดเวลาที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยที่ทำเกี่ยวกับประเด็นนี้ถูกเผยแพร่ออกมาจำนวนมาก ซึ่งแต่ละงานวิจัยก็จะมีรูปแบบของตัวเกมและโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แตกต่างกันไป โดยโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG ที่ถูกนำมาใช้นับตั้งแต่อดีตจนถึงปี 2017 ตามรายงานของ Kerous และคณะ [1] สามารถสรุปได้ตามแผนภูมิวงกลมในรูปที่ 6 ดังนี้



รูปที่ 6: แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แบบต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยด้านเกมจนถึงปี 2017 [1]

จากแผนภูมินี้จะเห็นได้ว่าโมเดลที่ใช้ NF (Neurofeedback) ถูกเลือกใช้มากที่สุด ซึ่งระบบ BCI ที่ใช้โมเดลนี้จะไม่ได้อาศัยสัญญาณ EEG ในการควบคุมเกมโดยตรง แต่จะใช้ในการตรวจสอบสถานะของผู้เล่นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาเกมหรือเพื่อให้เกมสามารถตอบสนองต่อผู้เล่นได้อย่างเหมาะสม อันดับต่อมาคือโมเดลที่ใช้ MI (Motor Imaginary) ที่ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีที่ผู้เล่นสามารถออกคำสั่งเมื่อใดก็ได้โดยไม่ต้องมีตัวกระตุ้น แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่โมเดลนี้ไม่มีความเสถียรเท่ากับโมเดลที่ใช้ ERP [21] ซึ่งจะมีผลอย่างมากในด้านจำนวนผู้ใช้ที่สามารถเข้าถึงได้ ดังนั้นตัวเลือกอันดับสามอย่างโมเดลที่ใช้ SSVEP จึงเป็นตัวเลือกแรกๆ ที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและเลือกใช้ในงานวิจัยขึ้นนี้ด้วยข้อดีที่ได้กล่าวไปในทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ความก้าวหน้าของการควบคุมเกมด้วยระบบ BCI โมเดล SSVEP

จากรายงานของ Kerous และคณะที่ถูกเผยแพร่ในปี 2017 [1] และจากการสำรวจโดยผู้วิจัยเอง รายชื่อของงานวิจัยที่นำระบบ BCI โมเดล SSVEP มาใช้ในการควบคุมเกมนับตั้งแต่อดีตจนถึงปี 2018 สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1: รายชื่องานวิจัยที่นำระบบ BCI ที่ใช้สัญญาณ SSVEP มาควบคุมเกมจนถึงปี 2018 [1]

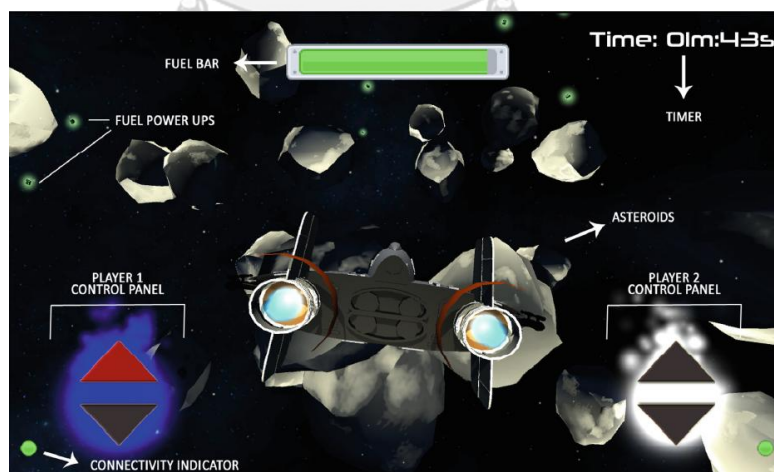
Paper	Author	Published
Real-time detection of brain events in EEG [22]	Vidal	1977
Fully online multicommand brain-computer interface with visual neurofeedback using SSVEP paradigm [23]	Martinez et al	2007
Continuous control paradigms for direct brain interfaces [24]	Moore Jackson et al	2009
Measuring immersion and affect in a brain computer interface game [25]	Hakvoort et al	2011
Designing a brain-computer interface controlled video-game using consumer grade EEG hardware [26]	Vliet et al	2012
Augmented control of an avatar using an SSVEP based BCI [27]	Kapeller	2012
Evaluation and comparison of a multimodal combination of BCI paradigms and eye tracking with affordable consumer-grade hardware in a gaming context [28]	Kos' Myna and Tarpin-Bernard	2013
Toward contextual SSVEP-based BCI controller: smart activation of stimuli and control weighting [29]	Legény et al	2013
A spacecraft game controlled with a brain-computer interface using SSVEP with phase tagging [30]	Parafita et al	2013
Steady-state visual evoked potential-based computer gaming on a consumer-grade EEG device [31]	Chumerin et al	2013
Design a brain computer interface gaming system using steady-state visual evoked potential [32]	Po-Lei et al	2014
A 3D learning playground for potential attention training in ADHD: a brain computer interface approach [33]	Ali and Puthussery pady	2015
A multi-channel SSVEP-based BCI for computer games with analogue control [19]	Wong et al	2015
Immersive BCI with SSVEP in VR head-mounted display [34]	Koo et al	2015



A prototype SSVEP based real time BCI gaming system [35]	Martišius and Damaševičius	2016
Controlling a game using a BCI-SSVEP with four commands [36]	Leite et al	2017
Kessel Run - a cooperative multiplayer SSVEP BCI game [37]	Cruz et al	2018

จากการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยในตารางนี้ ผู้วิจัยพบว่าวิธีการจำแนกสัญญาณแบบล่าสุดของโมเดล SSVEP ที่ถูกนำมาใช้ในระบบ BCI สำหรับการควบคุมเกมคือวิธีแบบ CCA ซึ่งงานวิจัยล่าสุดที่ใช้การจำแนกสัญญาณวิธีนี้คืองานวิจัยของ Cruz และคณะในปี 2018 [37]

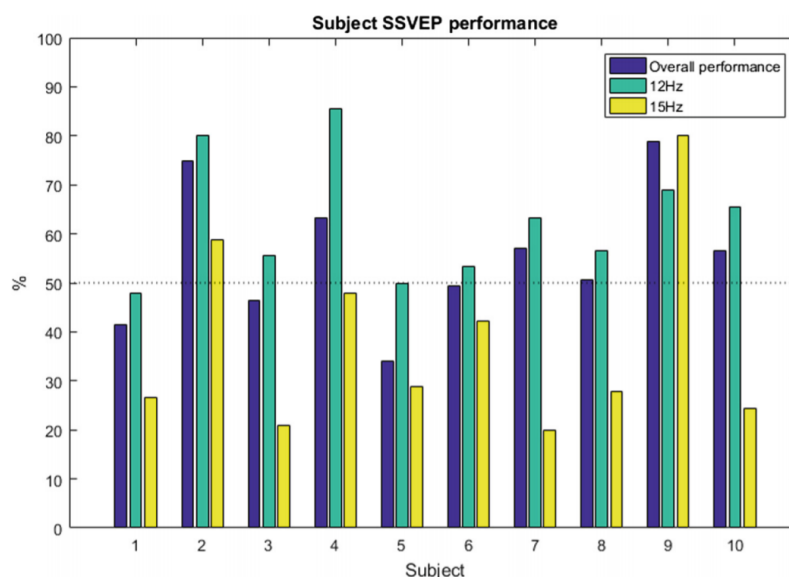
งานวิจัยของ Cruz และคณะเป็นเกมที่ผู้เล่น 2 คนต้องช่วยกันควบคุมยานเพื่อหลบหลีกอุกกาบาตเป็นระยะเวลา 2 นาทีตามที่เห็นในรูปที่ 7 โดยผู้เล่นคนแรกจะบังคับให้ยานเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง ส่วนผู้เล่นคนที่สองจะบังคับให้ยานเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวา และแต่ละคนมีไฟ LED 2 ดวงซึ่งกะพริบด้วยความถี่ 12 กับ 15Hz ติดอยู่ที่ขอบจอเพื่อใช้บังคับทิศทาง งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดเด่นที่ตัวเกมนั้นความสนุก ทาง Cruz และคณะจึงออกแบบให้ระบบ BCI สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็วด้วยการใช้วิธีการจำแนกสัญญาณเป็นแบบ CCA ที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเพียงแค่ 2 ขั้วเท่านั้น (Oz กับ Pz) ซึ่งผลออกมาว่าจากผู้เล่นทั้งหมด 12 คน ความแม่นยำสูงสุดของระบบ BCI อยู่ที่ 79% ความแม่นยำต่ำสุดอยู่ที่ 33% และความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 55% ซึ่งถือว่าต่ำกว่าที่ผู้วิจัยคาดหวังเอาไว้



รูปที่ 7: เกมที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ Cruz และคณะในปี 2018 [37]

ที่เป็นเช่นนี้ทาง Cruz และคณะได้วิเคราะห์ไว้ว่าอาจมาจาก 2 สาเหตุด้วยกัน สาเหตุแรกคือประสิทธิภาพในการตรวจจับ SSVEP ความถี่ 15Hz ของตัวประมวลผลสัญญาณอาจไม่ดีนัก เนื่องจากผู้เล่นสามารถใช้คำสั่งผ่านตัวกระตุ้นความถี่ 12Hz ได้ดีกว่าอย่างชัดเจนจากที่เห็นในรูปที่ 8 ส่วน

สาเหตุที่สองคือรูปแบบของตัวเกมและตำแหน่งของตัวกระตุ้น เนื่องจากรูปแบบของตัวเกมบังคับให้ผู้เล่นต้องหลบอูกกาบาศและตัวกระตุ้นถูกติดอยู่ที่ขอบจอ ผู้เล่นจึงต้องละสายตาทิ้งจากตัวกระตุ้นที่อยู่ห่างจากตัวเกมอยู่แล้วเพื่อมามองอูกกาบาศอยู่ตลอดเวลาจนไม่สามารถมุ่งความสนใจไปยังตัวกระตุ้นได้อย่างเต็มที่



รูปที่ 8: ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคำสั่ง SSVEP ในงานวิจัยของ Cruz และคณะในปี 2018 [37]

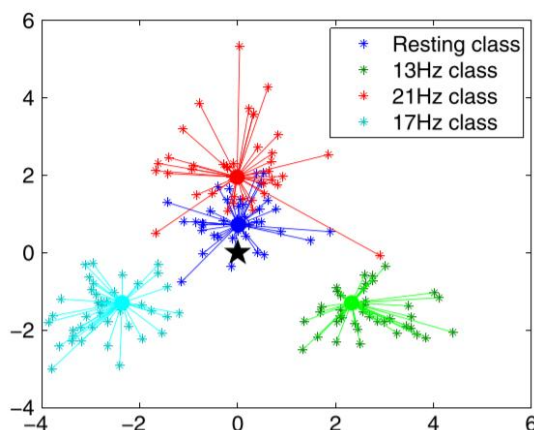
จากสาเหตุทั้งหมดที่ได้กล่าวไปนั้นทำให้ผู้วิจัยทราบถึงจุดที่ต้องนำไปปรับปรุงถ้าหากต้องการพัฒนาเกม BCI ที่เน้นความสนุก จุดแรกคือต้องหาวิธีการจำแนกสัญญาณแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ CCA ส่วนจุดที่สองคือต้องพัฒนาเกมให้มีฟีเจอร์ที่ช่วยให้ผู้เล่นมีเวลาในการมุ่งความสนใจไปยังตัวกระตุ้นได้อย่างเต็มที่

## 2.2.2 วิธีการจำแนกสัญญาณแบบที่ดีกว่า CCA

งานวิจัยของ Kalunga และคณะในปี 2016 [16] ได้นำหนึ่งในวิธีการจำแนกสัญญาณสำหรับระบบ BCI ที่ถูกเสนอโดย Barachant และคณะในปี 2012 [39] อย่างการแยกด้วยวิธี MDRM มาประยุกต์กับการใช้จำแนก SSVEP ซึ่งเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับตัวประมวลผลสัญญาณที่ใช้วิธี CCA จาก 2 งานวิจัย คือ Lin และคณะในปี 2006 [18] กับ Nakanishi และคณะในปี 2014 [40] แล้ว ผลที่ออกมาคือตัวประมวลผลสัญญาณที่ใช้วิธี MDRM มีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งในด้านความเร็วและความแม่นยำ

ถึงแม้ว่าวิธีการจำแนกสัญญาณแบบนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม แต่จากผลการทดสอบของ Kalunga และคณะ ตัวประมวลผลสัญญาณ 3 ตัวที่ถูกพัฒนาขึ้น คือตัวที่ใช้อัลกอริทึมบางส่วนเพื่อเน้นความเร็วในการประมวลผล, ตัวที่ใช้อัลกอริทึมเต็มเพื่อเน้นความสมดุล และตัวที่ใช้อัลกอริทึมเต็ม

ร่วมกับตัวกรองสัญญาณรบกวนเพื่อเน้นความแม่นยำ มีความแม่นยำเฉลี่ยในการจำแนก SSVEP จำนวน 4 คลาส (13Hz, 17Hz, 21Hz และไม่มีพบ SSVEP) ที่เก็บจาก 8 ช่องสัญญาณอยู่ที่ 74.8%, 79.1% และ 79.5% ตามลำดับ ซึ่งถือว่ายังไม่แม่นยำพอสำหรับการควบคุมเกม



รูปที่ 9: ผลการทดสอบในงานวิจัยของ Kalunga และคณะในปี 2016 [16]

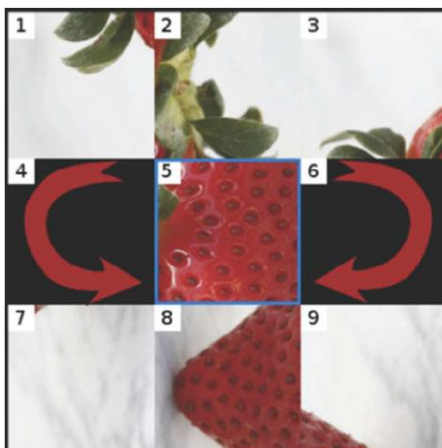
เพื่อลดจุดอ่อนในประเด็นนี้ ผู้วิจัยคิดว่าการจำกัดจำนวนความถี่ที่ใช้ให้เหลือความถี่เดียว น่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากผลการทดสอบของ Kalunga และคณะตามรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่า SSVEP บางคลาสเมื่อจำแนกออกมาแล้วมีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่ไม่มี SSVEP ดังนั้นการเลือกใช้เฉพาะความถี่เดียวและเป็นความถี่ที่ให้ผลลัพธ์ออกมาต่างจากสัญญาณที่ไม่มี SSVEP มากที่สุดจึงมีแนวโน้มว่าจะสามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับตัวประมวลผลสัญญาณได้มาก นอกจากนี้ถ้าหากดูตามหลักการการจำแนกสัญญาณแบบ MDRM แล้ว จะพบว่าการใช้ความถี่เดียวส่งผลให้เมทริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณเมทริกซ์ค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยวมีขนาดลดลงเป็นอย่างมากแม้ว่าจะใช้จำนวนช่องสัญญาณเท่าเดิมก็ตาม ซึ่งนั่นหมายความว่า การจำกัดความถี่ยังช่วยให้การประมวลผลสัญญาณทำได้เร็วขึ้นอีกด้วย

### 2.2.3 การเลี่ยงข้อจำกัดของ SSVEP

เมื่อไม่สามารถแยกความแตกต่างของ SSVEP โดยใช้ความถี่ได้ ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะแยกความแตกต่างโดยใช้ตำแหน่งการมองเห็น จากรายชื่องานวิจัยที่แสดงไปในหัวข้อ 3.1 จะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยของ Kos' Myna กับ Tarpin-Bernard ในปี 2013 [28] ที่นำเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเห็นมาช่วยในการทำงานของระบบ BCI ด้วย

ตัวเกมของงานวิจัยชิ้นนี้เป็นเกมจิกซอร์ว 9 ชิ้นที่ผู้เล่นจะต้องหมุนแต่ละชิ้นให้เกิดเป็นรูปภาพที่สมบูรณ์ตามที่เห็นในรูปที่ 10 โดยผู้พัฒนาพัฒนาตัวเกมให้สามารถควบคุมได้ 5 แบบด้วยกัน แต่มีเพียง 2 แบบเท่านั้นที่ใช้ระบบ BCI ในการควบคุม นั่นคือแบบที่ใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเห็นร่วมกับ SSVEP (แบบที่ 1) กับแบบที่ใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเห็นร่วมกับ Motor Imaginary

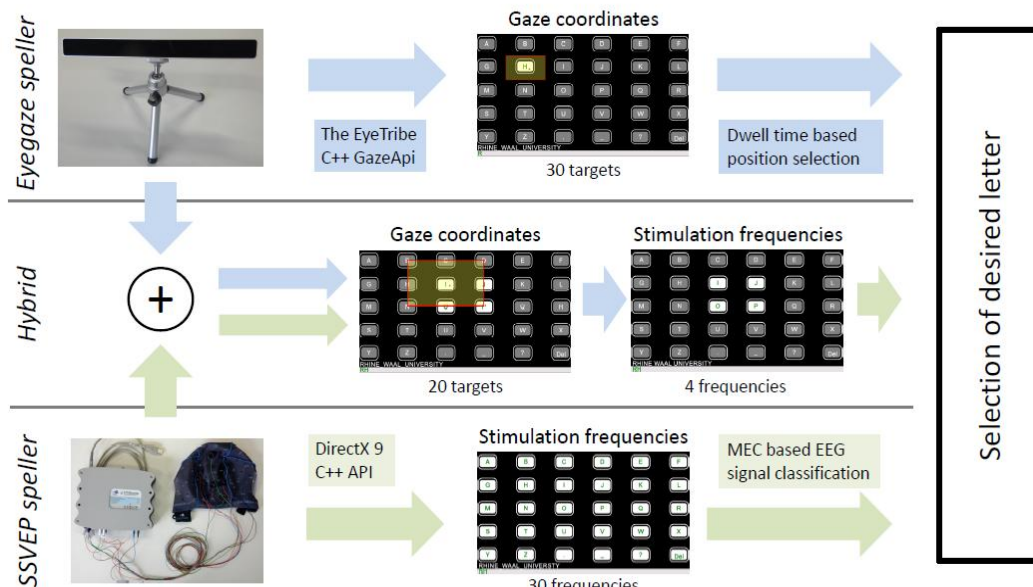
(แบบที่ 2) วิธีการเล่นของการควบคุมทั้ง 2 แบบนี้จะคล้ายกัน คือผู้เล่นต้องใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองในการเลือกจิ๊กซอว์ชิ้นที่ต้องการ จากนั้นก็ใช้ SSVEP หรือ Motor Imaginary ในการหมุนจิ๊กซอว์ชิ้นนั้นไปในทิศทางเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 10: เกมที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ Kos' Myna กับ Tarpin-Bernard ในปี 2013 [28]

ผลการทดสอบออกมาว่าการควบคุมแบบที่หนึ่งสามารถทำงานได้จริงและทำงานได้ดีกว่าการควบคุมแบบที่สอง แต่ถึงกระนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ก็ยังไม่สามารถใช้สรุปได้ว่าการใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองร่วมกับ SSVEP จะทำให้ได้ระบบ BCI ที่มีประสิทธิภาพกว่าการใช้ SSVEP อย่างเดียวจริง งานวิจัยที่สรุปเอาไว้อย่างชัดเจนว่าระบบใดมีประสิทธิภาพกว่ากันคืองานวิจัยของ Stawicki และคณะในปี 2017 [41]

สิ่งที่งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอคือโปรแกรมพิมพ์ข้อความที่มีวิธีการควบคุมอยู่ 3 แบบตามที่ได้เห็นในรูปที่ 11 คือการควบคุมโดยใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองอย่างเดียว (แบบที่ 1) การควบคุมโดยใช้ SSVEP อย่างเดียว (แบบที่ 2) และการควบคุมโดยใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองร่วมกับ SSVEP (แบบที่ 3) ซึ่งในส่วนของการควบคุมแบบที่สามนั้น ตัวโปรแกรมจะใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองมาเป็นตัวกำหนดว่าจะให้ปุ่มใดกะพริบได้บ้าง จากเดิมที่ต้องใช้ถึง 30 ความถี่พร้อมกันจึงเหลืออยู่เพียง 4 ความถี่เท่านั้น ผลการทดสอบที่ออกมาจึงไม่น่าประหลาดใจที่การควบคุมแบบที่สามจะทำงานได้เร็วกว่า แม่นยำกว่า และมีจำนวนผู้ใช้ที่สามารถใช้งานได้ผ่านเกณฑ์ (พิมพ์ข้อความเสร็จ และมีค่าความแม่นยำสูงกว่า 70%) มากกว่าการควบคุมแบบที่สอง ถึงแม้ว่าการควบคุมแบบที่สามจะทำงานได้ช้ากว่าแบบที่หนึ่งก็ตาม แต่ในเรื่องของความแม่นยำและจำนวนผู้ใช้ที่สามารถใช้งานได้ผ่านเกณฑ์ก็ยังถือว่าดีกว่าแบบที่หนึ่งอยู่



รูปที่ 11: การควบคุมโปรแกรมพิมพ์ข้อความแบบต่าง ๆ ในงานวิจัยของ Stawicki และคณะในปี 2017 [41]

เมื่อ Stawicki และคณะสรุปผลออกมาได้ดังนี้ จึงสามารถยืนยันข้อสันนิษฐานของผู้วิจัยได้ว่าระบบ BCI ที่ใช้การทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองกับ SSVEP มีประสิทธิภาพกว่าระบบที่ใช้ SSVEP อย่างเดียวจริง แต่ถึงกระนั้นระบบ BCI แบบนี้ก็ยังไม่สามารถใช้ในการควบคุมเกมแนว FPS ได้ เนื่องจาก SSVEP ไม่สามารถใช้ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ผู้เล่นต้องควบคุมทั้งทิศทางการเดินและทิศทางการมองในเวลาเดียวกัน และถึงแม้ว่าจะเป็นคำสั่งที่สามารถใช้ได้ แต่ถ้าใช้ SSVEP มากเกินไปก็จะทำให้ผู้เล่นเกิดอาการล้าได้ เนื่องจากผู้เล่นต้องจ้องมองตัวกระตุ้นที่กะพริบอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงต้องหาวิธีการควบคุมแบบอื่นเข้ามาช่วยเสริม

#### 2.2.4 การใช้ระบบ Hybrid BCI ในการควบคุมเกม

ในรายงานของ Kerous และคณะ [1] ได้กล่าวถึงความน่าสนใจของระบบ Hybrid BCI เอาไว้ ไม่ว่าจะเป็นระบบ Pure Hybrid BCI ที่เป็นการนำโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG มากกว่าหนึ่งแบบมาใช้ร่วมกัน หรือระบบ Mixed Hybrid BCI ที่เป็นการนำระบบ BCI มาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ อย่างคีย์บอร์ดกับเมาส์ หรือเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง เป็นต้น ทว่าวงการวิจัยด้านนี้ก็กลับให้ความสนใจกับระบบ Hybrid BCI น้อยมาก ดังจะเห็นได้จากจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ Pure Hybrid BCI ที่ทาง Kerous และคณะรวบรวมมาได้เพียง 2 รายการเท่านั้นตามที่เห็นในตารางที่ 2 กับจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ Mixed Hybrid BCI ที่จากในตารางที่ 1 มีเพียงงานวิจัยชิ้นเดียวเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คืองานวิจัยของ Kos' Myna กับ Tarpin-Bernard ในปี 2013 [28]

ตารางที่ 2: รายชื่องานวิจัยที่นำระบบ Pure Hybrid BCI มาควบคุมเกมตามรายงานของ Kerous และคณะ ในปี 2017 [1]

Paper	Author	Published	Utilized Signals
Bacteria hunt: a multimodal, multiparadigm BCI game [42]	Mühl C et al	2010	SSVEP, Alpha
Playing tetris with non-invasive BCI [43]	Pires G et al	2011	P300, SMR

คณะผู้จัดทำรายงานได้สรุปถึงสาเหตุเอาไว้ว่า การที่ระบบ Pure Hybrid BCI ยังไม่ได้รับความสนใจก็เพราะว่าวงการวิจัยด้านนี้ยังคงมุ่งอยู่กับการพิสูจน์ความเป็นไปได้ (Proof-of-Concept) ของการนำโมเดลการใช้งานสัญญาณ EEG แบบต่าง ๆ มาควบคุมเกมอยู่ ส่วนการที่ระบบ Mixed Hybrid BCI ยังไม่ได้รับความสนใจก็เพราะว่ากลุ่มเป้าหมายหลัก ๆ ของงานวิจัยด้านนี้มักจะเป็นเพียงผู้พิการเท่านั้น ผู้วิจัยจึงต้องออกแบบระบบให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องขยับกล้ามเนื้อ

จากความละเอียดในเรื่องระบบ Hybrid BCI ที่ได้กล่าวไป และจากข้อสรุปจากงานวิจัยของ Stawicki และคณะ [41] ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะนำโมเดลที่ใช้ SSVEP ร่วมกับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับความสนใจของผู้ใช้ในขณะที่มองจุดต่าง ๆ รวมถึงตรวจจับตำแหน่งการกะพริบตาของผู้ใช้ มาผนวกรวมกับคีย์บอร์ดกับเมาส์ซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครได้ที่อยู่แล้ว เพื่อสร้างระบบควบคุมเกมแบบใหม่ที่ทางผู้วิจัยคิดว่าจะมีความน่าสนใจมากพอในการศึกษาต่อ



### บทที่ 3: วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การบันทึกสัญญาณ EEG

อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ EEG ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ g.SAHARASYS [44] และ g.MOBILAB+ [45] จากบริษัท g.TEC ดังที่เห็นในรูปที่ 12 และ 13 g.SAHARA จะทำหน้าที่รับสัญญาณโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแห้งที่ถูกติดอยู่ที่ตำแหน่ง Oz, O1, O2, POz, PO3, PO4, PO7 และ PO8 ตามมาตรฐาน 10-20 เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Kalunga และคณะ [16] ขั้วที่เป็นสายดินจะติดอยู่ตรงบริเวณใต้คางซ้าย ส่วนขั้วที่เป็นตัวอ้างอิงจะติดอยู่ตรงบริเวณใต้คางขวา g.MOBILAB+ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ บันทึกสัญญาณ และส่งต่อสัญญาณไปให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลด้วยความถี่ 256Hz สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแห้งก็เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง และช่วยให้ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกผ่อนคลายเหมือนกับการเล่นเกมจริง ๆ มากขึ้น



รูปที่ 12: อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ EEG รุ่น g.SAHARA [44]



รูปที่ 13: อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ EEG รุ่น g.MOBILAB+ [45]

#### 3.2 การพัฒนาตัวประมวลผลสัญญาณ EEG

ตัวประมวลผลสัญญาณ EEG สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นตัวประมวลผลแบบทันกาลที่ถูกพัฒนาในโปรแกรม MATLAB [46] โดยวิธีจำแนกสัญญาณที่ใช้จะยกมาจากวิธี MDRM แบบที่เน้นความเร็วในการประมวลผลตามแบบที่ Kalunga และคณะได้นำเสนอ [16]

ทว่าเมื่อนำมาใช้งานจริงแล้ว ผู้วิจัยพบว่าตัวประมวลผลสัญญาณนี้ใช้ช่วงสัญญาณขนาดกว้างถึง 4 วินาทีในการประมวลผลแต่ละครั้ง และยังต้องประมวลผลถึง 5 ครั้งกว่าจะสรุปผลได้ว่าพบ

SSVEP หรือไม่ ซึ่งนั่นทำให้ระบบใช้เวลาในการรับรู้คำสั่งของผู้เล่นนานเกินไป อีกทั้งยังไม่สามารถตอบสนองต่อผู้เล่นได้บ่อยเท่าที่ต้องการเพราะ MATLAB ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้ทันภายในเวลา 0.25 วินาที ซึ่งถือว่าเป็นเวลาสูงสุดที่ผู้วิจัยคาดหวังเอาไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจลดขนาดของช่วงสัญญาณลงจาก 4 วินาทีเป็น 2.5 วินาที และย้ายระบบโหวตจากเดิมที่ตัวประมวลผลเป็นผู้จัดการไปให้ตัวเกมเป็นผู้จัดการแทน ซึ่งการลดขนาดของช่วงสัญญาณนี้ย่อมส่งผลในแง่ลบต่อความแม่นยำของตัวประมวลผลสัญญาณอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

### 3.3 การออกแบบและพัฒนาเกม

ตัวเกมจะเป็นเกมบนแพลตฟอร์ม (Platform) Windows ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาเกม (Game Engine) Unity 5 [47] และถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C#

#### 3.3.1 การออกแบบเกม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการสร้างเกมนี้คือเพื่อพิสูจน์ว่าระบบควบคุมที่ถูกพัฒนาขึ้นมีความสามารถในการควบคุมเกมเหนือกว่าระบบควบคุมที่ใช้ BCI เพียงอย่างเดียว และสามารถนำไปใช้ควบคุมเกมแนว FPS เกมอื่นที่วางขายในท้องตลาดได้ ผู้วิจัยจึงตั้งหลักการออกแบบเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวเอาไว้ ดังนี้

- วิธีการออกคำสั่งผ่านระบบการควบคุมที่ถูกพัฒนาขึ้นที่ใช้ในเกมนี้ทั้งหมด จะต้องเพียงพอสำหรับการนำไปควบคุมเกมแนว FPS เกมอื่นที่วางขายในท้องตลาด
- วิธีการออกคำสั่งต่าง ๆ จะต้องใช้ปุ่มบนคีย์บอร์ดกับเมาส์ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- ตัวเกมจะต้องมีฟีเจอร์ (Feature) ที่ช่วยให้การเล่นด้วยระบบ BCI ง่ายขึ้น ซึ่งฟีเจอร์นี้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อตัวเกมเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญในกรณีที่ตัวเกมถูกเปลี่ยนไปพัฒนาให้เล่นโดยคีย์บอร์ดกับเมาส์ หรือเกมแพด (Gamepad) อย่างเดียวแทน ตัวอย่างเช่น เมื่อเล่นเกมแนว FPS ด้วยเกมแพดตัวเกมจะเปิดระบบช่วยเหลือ (Aim Assist) ขึ้นมาเพื่อช่วยให้ผู้เล่นเล็งปืนด้วยคันโยกอนาล็อก (Analog Stick) ได้ง่ายขึ้น ในขณะที่ถ้าผู้เล่นเล่นเกมเดียวกันแต่ใช้คีย์บอร์ดกับเมาส์แทน ตัวเกมก็ยังคงเหมือนเดิมแต่ไม่มีระบบช่วยเหลือ เป็นต้น และฟีเจอร์นี้ต้องไม่สามารถทำได้ในระบบควบคุมที่ใช้ BCI อย่างเดียว
- ตัวเกมจะต้องมอบความสนุกและท้าทายให้กับผู้เล่น

โดยรายละเอียดของ 2 หลักการแรกจะกล่าวถึงในหัวข้อวิธีการออกคำสั่งที่ต้องมีในตัวเกม หลักการที่สามจะกล่าวถึงในหัวข้อฟีเจอร์ที่ช่วยการควบคุมด้วยระบบ BCI ส่วนหลักการสุดท้ายจะกล่าวถึงในหัวข้อรูปแบบของตัวเกม



### 3.3.1.1 วิธีการออกคำสั่งที่ต้องมีในตัวเกม

จากประสบการณ์การเล่นของผู้วิจัยเอง เกมแนว FPS ทุกเกมมีหัวใจเหมือนกันนั่นคือผู้เล่นต้องเคลื่อนที่ผ่านฉากและฆ่าศัตรู ระบบการเล่นใหม่ ๆ ของเกมแนวนี้ล้วนมาจากการต่อยอดจากหัวใจนี้ทั้งสิ้น

ในเรื่องการเคลื่อนที่ผ่านฉาก สิ่งที่ผู้เล่นต้องการเพื่อให้เคลื่อนที่ผ่านฉากไปได้คือการเคลื่อนที่ของตัวละคร, การมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม และทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้เพื่อเอาตัวรอด ในเกมเก่า ๆ อย่าง Doom (1993) [48] การเคลื่อนที่ของตัวละครถูกจำกัดอยู่เพียงการเดินกับกระโดดเท่านั้น การมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมก็มีเพียงการกดปุ่มเปิดประตูให้ถูกต้อง ส่วนทรัพยากรที่ต้องใช้ก็มาในรูปแบบกล่องกระสุนหรือกล่องพยาบาลที่วางอยู่บนพื้นให้ผู้เล่นเก็บอย่างเดียว แต่ในเกมที่ใหม่กว่าอย่าง Far Cry 5 [49] ตัวละครสามารถวิ่งได้ ย่อได้ ไกลไปกับพื้นได้ การมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมเป็นการคุยกับตัวละครอื่นในเกมก็ได้ ส่วนทรัพยากรก็สามารถเก็บไว้ในกระเป๋าเพื่อเรียกออกมาใช้เมื่อใดก็ได้ หรือจะสร้างไอเท็ม (Item) ใหม่จากทรัพยากรที่มีอยู่เลยก็ได้

ในเรื่องการฆ่าศัตรู สิ่งที่ผู้เล่นต้องการเพื่อให้ฆ่าศัตรูคืออาวุธ ในเกมเก่า ๆ อย่าง Doom (1993) [48] ผู้เล่นสามารถฆ่าศัตรูได้โดยใช้เฉพาะปืนเท่านั้น แต่ในเกมที่ใหม่กว่าอย่าง Borderlands [50] ผู้เล่นสามารถฆ่าศัตรูได้ด้วยการโจมตีระยะใกล้ (Melee) อาวุธที่ต้องปาดอย่างระเบิด หรือความสามารถพิเศษ (Ability) ของตัวละคร

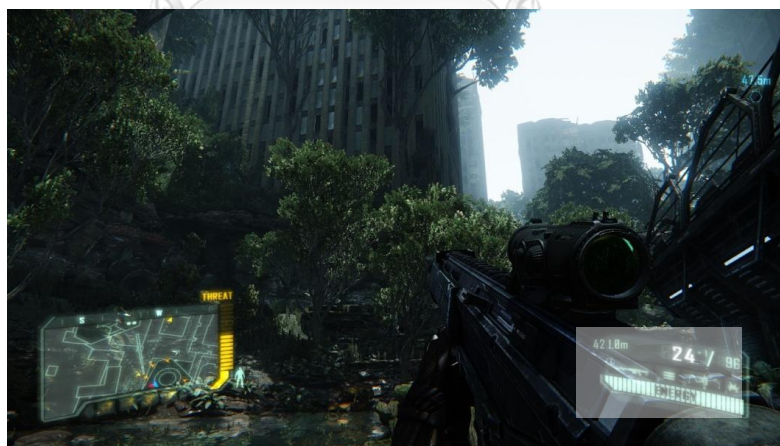
ทุกคำสั่งที่ได้กล่าวไปนั้นสามารถจัดได้เป็น 5 ประเภทด้วยกัน คือคำสั่งที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของตัวละคร การใช้อาวุธ การใช้ไอเท็ม การมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม และการใช้ความสามารถพิเศษของตัวละคร แต่ในความเป็นจริงแล้วการใช้ไอเท็มและการใช้ความสามารถพิเศษของตัวละครสามารถรวมกันเป็นประเภทเดียวได้ เนื่องจากการใช้ไอเท็มก็เหมือนกับการใช้ความสามารถพิเศษ แต่เปลี่ยนวิธีจำกัดการใช้เป็นปริมาณแทนคูลดาวน์ (Cooldown) หรือค่าพลังเวทย์ (Mana point) ส่วนการใช้ความสามารถพิเศษก็เหมือนกับการใช้ไอเท็ม แต่เปลี่ยนวิธีจำกัดการใช้เป็นคูลดาวน์หรือค่าพลังเวทย์แทนปริมาณ คำสั่งประเภทที่ 5 ที่แท้จริงคือคำสั่งที่เกี่ยวกับเมนูภายในเกมซึ่งทุกเกมจำเป็นต้องมี ซึ่งคำสั่งทั้ง 5 ประเภทนี้เพียงพอกับการนำมาใช้ควบคุมเกมที่มีหัวใจหลักอยู่ที่การเคลื่อนที่ผ่านฉากและฆ่าศัตรู นั่นคือเพียงพอสำหรับเกมแนว FPS ทุกเกม

คำสั่งใดสามารถใช้ SSVEP สั่งการได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับว่าคำสั่งนั้นมีความสัมพันธ์กับ Head-Up Display (HUD) ใดหรือไม่ แต่ก็เชื่อว่าผู้วิจัยอยากจะให้คำสั่งที่มีความสัมพันธ์กับ HUD ทั้งหมดต้องสั่งการผ่าน SSVEP อย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากตามข้อเสียที่ได้กล่าวไป คือการใช้ SSVEP อาจก่อให้เกิดความรำคาญได้โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ ดังนั้นการใช้ SSVEP มากเกินไปย่อมไม่ส่งผลดีต่อประสบการณ์การเล่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำกัดให้คำสั่งที่ต้องใช้ SSVEP มีเฉพาะคำสั่งที่ต้องการอินพุต

(Input) อย่างต่อเนื่องหรือควรใช้ความพยายามระดับหนึ่งในการสั่งการเท่านั้น ส่วนคำสั่งที่มีความสัมพันธ์กับ HUD ที่เหลือ ผู้วิจัยจะให้สั่งการผ่านการกดปุ่มหรือการกะพริบตาข้างใดข้างหนึ่ง ซึ่งตัวเกมจะตีความว่าผู้เล่นต้องการใช้คำสั่งใดโดยใช้ตำแหน่งที่ผู้เล่นมองอยู่ ในบรรดาคำสั่งทั้ง 5 ประเภทที่ได้กล่าวไป คำสั่งใดมีความสัมพันธ์กับ HUD บ้างและคำสั่งใดต้องใช้วิธีการสั่งการอย่างไรสามารถสรุปได้ ดังนี้

### 3.3.1.1.1 ประเภทการเคลื่อนไหวของตัวละคร

คำสั่งทั่วไปในประเภทนี้ได้แก่ เดิน หันหน้า วิ่ง ย่อ หมอบ และกระโดด ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าเหมาะกับการสั่งการด้วยคีย์บอร์ดกับเมาส์มากที่สุด เนื่องจากมักไม่ค่อยมี HUD ที่มีความสัมพันธ์กับคำสั่งเหล่านี้ ยกเว้นคำสั่งวิ่งที่บางเกมมีปรอทเพื่อบอกว่าผู้เล่นวิ่งได้อีกนานเท่าใดอย่างไรในรูปที่ 14 กับคำสั่งย่อที่บางเกมมีรูปเพื่อบอกว่าผู้เล่นยืนหรือย่ออยู่อย่างไรในรูปที่ 15 แต่ถึงกระนั้นคำสั่งวิ่งกับย่อก็ยังไม่เหมาะกับการสั่งการด้วยวิธีอื่นด้วยเหตุผลหลายประการ ประการแรกคือคำสั่งประเภทนี้ต้องใช้ร่วมกับคำสั่งอื่นที่ผู้เล่นต้องให้ความสนใจมากกว่า เช่น เดินพร้อมกับยิงไปด้วย เป็นต้น ประการที่สองคือในหลายเกมผู้เล่นต้องกดวิ่งแล้วย่อเพื่อให้ตัวละครโผล่ไปข้างหน้า การจะทำให้ผู้เล่นละสายตาจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในเกมเพื่อมามอง HUD 2 ตัวในเวลาไล่เลี่ยกันถือว่าเป็นความไม่สะดวกสำหรับผู้เล่นอย่างมาก ประการสุดท้ายคือในหลายเกมมีคำสั่งหมอบซึ่งจะใช้ HUD ตัวเดียวกับคำสั่งย่อด้วย ทำให้ไม่อาจบอกได้ว่าผู้เล่นต้องการใช้คำสั่งใดกันแน่



รูปที่ 14: HUD ที่บอกว่าผู้เล่นว่าสามารถวิ่งได้อีกนานเท่าใดจากเกม Crysis 3 [51]



รูปที่ 15: HUD ที่บอกสถานะการยิงหรือย่อ และภารกิจแบบลอบเร้นจากเกม *Call of Duty: World at War* [52]

### 3.3.1.1.2 ประเภทการใช้อาวุธ

คำสั่งทั่วไปในประเภทนี้ ได้แก่ คำสั่งยิง เต็มกระสุน เปลี่ยนโหมดการยิง เปลี่ยนปืน ยกปืน ขึ้นมาเล็ง ปาล้างของ และโจมตีระยะประชิด คำสั่งปาล้างของจะมีความพิเศษสำหรับเกมบางเกมอย่าง *Counter-Strike: Global Offensive* [53] ผู้เล่นจะต้องเอาระเบิดขึ้นมาถือไว้ก่อนจึงจะปาได้อย่างในรูปที่ 16 ซึ่งในกรณีแบบนี้การปาล้างของจะเหมือนกับการใช้อาวุธทั่วไปมากกว่าอีกกรณีหนึ่งซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 16: การเอาระเบิดขึ้นมาถือในมือก่อนปาจากเกม *Counter-Strike: Global Offensive* [53]

คำสั่งส่วนใหญ่ในประเภทนี้มักจะมีความสัมพันธ์กับ HUD เช่น เป้าเล็งมีความสัมพันธ์กับ คำสั่งยิง ปาล้างของ หรือยกปืนขึ้นมาเล็ง เลขบอกปริมาณกระสุนมีความสัมพันธ์กับคำสั่งเติมกระสุน รูปไอคอน (Icon) ที่แสดงว่าปืนมีโหมดอื่นให้ยังมีความสัมพันธ์กับคำสั่งเปลี่ยนโหมดการยิง เป็นต้น ส่วนคำสั่งโจมตีระยะประชิดก็สามารถทำให้มีรูปไอคอนบางอย่างขึ้นมาแจ้งเตือนผู้เล่นได้ว่าศัตรูอยู่ใน

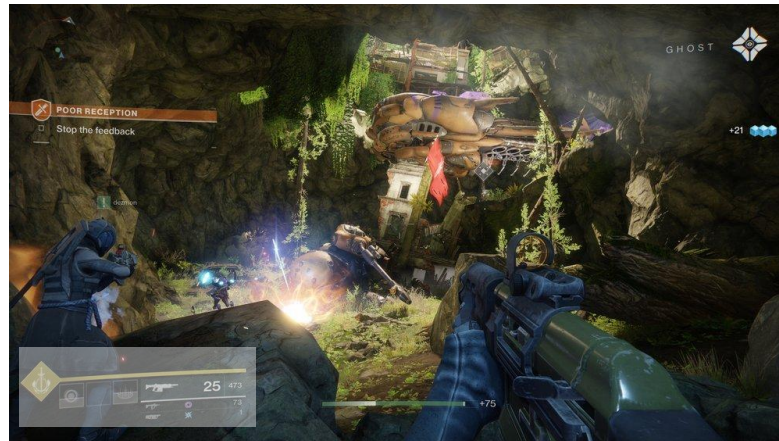
ระยะโจมตีแล้ว ซึ่งจะไปคล้ายกับระบบ Quick time event (QTE) ที่พบเห็นได้ในเกมทั่วไปอย่างไร ในรูปที่ 17 โดยในส่วนวิธีการใช้คำสั่งต่าง ๆ นั้น ผู้วิจัยเห็นว่าคำสั่งยกปืนขึ้นมาเล็งควรวัดให้ใช้การกะพริบตาข้างหนึ่งเมื่อมองไปยังเป้าเล็งเพื่อให้คล้ายกับวิธีการเล็งปืนในชีวิตจริง ส่วนคำสั่งที่เหลือ ยกเว้นคำสั่งยิง ให้ใช้การกดปุ่มเมื่อมองไปยัง HUD ที่เกี่ยวข้อง ที่ยกเว้นคำสั่งยิงก็เพราะว่าคำสั่งนี้ต้องรองรับอินพุตแบบต่อเนื่องสำหรับปืนแบบอัตโนมัติ แต่ในขณะที่เดียวกันก็เป็นคำสั่งที่ต้องใช้บ่อยเกินกว่าที่จะให้สั่งการด้วย SSVEP ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจให้คำสั่งนี้ใช้ได้ผ่าน 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือขยับเป้าเล็งให้ตรงกับตัวศัตรูปืนก็จะยิงให้โดยอัตโนมัติ ใช้กับปืนแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่สร้างความเสียหายไม่มาก ส่วนวิธีที่สองคือ SSVEP ใช้กับปืนแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างความเสียหายมาก หรือใช้กับสถานการณ์เฉพาะอย่างด่านที่ต้องเล่นในลักษณะรอบเร็นอย่างในรูปที่ 15 ที่ผู้เล่นต้องสำรวจสภาพแวดล้อมและตำแหน่งการยืนของศัตรูก่อนจึงจะตัดสินใจยิงได้



รูปที่ 17: QTE จากเกม Battlefield 3 [54]

คำสั่งเดียวที่มักไม่มี HUD เข้ามาเกี่ยวข้องคือคำสั่งเปลี่ยนปืน ถึงแม้ว่าบางเกมอย่าง Destiny 2 [55] จะมีรูปไอคอนปืนให้เห็นอย่างชัดเจนอย่างไรในรูปที่ 18 แต่เกมส่วนใหญ่มักจะเลือกใช้เมนูที่เรียกว่าวงล้ออาวุธ (Weapon Wheel) อย่างในรูปที่ 19 ที่เพียงแค่กดปุ่มเปิดขึ้นมา ลากเมาส์หรือขยับคันโยกอนาล็อกไปในทิศทางที่ต้องการ แล้วปล่อยปุ่ม ก็สามารถเปลี่ยนเป็นปืนที่ต้องการได้อย่างง่ายดาย หรือไม่ถ้าหากเกมนั้นจำกัดให้ผู้เล่นพกปืนได้ไม่กี่กระบอกเท่านั้นก็อาจไม่มี HUD หรือเมนูอะไรเลยก็ได้ ดังนั้นสำหรับคำสั่งนี้ผู้วิจัยจะให้ใช้ได้ผ่าน 2 วิธีด้วยกัน คือมองไปที่ HUD แล้วกดปุ่มกับกดปุ่มเพื่อเปิดวงล้ออาวุธขึ้นมา มองที่ตัวเล็ง แล้วปล่อย ขึ้นอยู่กับว่าจะออกแบบเกมอย่างไร





รูปที่ 18: HUD ที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับอาวุธและความสามารถพิเศษจากเกม Destiny 2 [55]



รูปที่ 19: วงล้ออาวุธจากเกม Doom: Eternal [56]

### 3.3.1.1.3 ประเภทการใช้ไอเท็มหรือความสามารถพิเศษ

คำสั่งในประเภทนี้ได้แก่ การใช้ไอเท็ม การใช้ความสามารถพิเศษของตัวละคร รวมถึงการปาลังของโดยใช้ปุ่มลัดได้ทันทีโดยไม่ต้องเอาขึ้นมาถือก่อน อย่างการระเบิดในเกม Halo 3 [57] ในรูปที่ 20 เป็นต้น

ถ้าเป็นการควบคุมแบบปกติ วิธีการใช้คำสั่งประเภทนี้จะมีอยู่ทั้งหมด 3 วิธีด้วยกัน คือใช้ผ่านปุ่มลัดอย่างที่กล่าวไป ใช้ผ่านเมนูในเกม และใช้โดยอัตโนมัติตามบริบท ในส่วนของวิธีแรกอย่างการใช้ผ่านปุ่มลัด ตัวเกมก็จะต้องมี HUD ที่บอกสถานะว่าใช้ได้หรือไม่ได้พวงมาด้วยอย่างในรูปที่ 18 ถ้าเป็นไอเท็ม HUD นี้ก็จะบอกว่าเหลือไอเท็มชนิดเดียวกันอยู่ที่ขึ้น ถ้าเป็นความสามารถพิเศษ HUD นี้ก็จะบอกว่าความสามารถนั้นจะใช้งานได้อีกครั้งเมื่อใด ผู้วิจัยเห็นว่าในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้วิธีการออกคำสั่ง 2 แบบร่วมกัน นั่นคือการมองไปที่ HUD แล้วกดปุ่ม กับการกะพริบตาข้างหนึ่งให้นานกว่าปกติเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะว่าไอเท็มและความสามารถพิเศษบางอย่างมักจะถูกใช้งานมากกว่าอย่างอื่น และถึงแม้ว่าการมองแล้วกดปุ่มจะไม่ได้ใช้เวลานาน แต่การละสายตาจากสิ่งที่เกิดขึ้นในเกม

แม้เพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลให้ผู้เล่นผ่านหรือไม่ผ่านได้เช่นกัน ดังนั้นการให้ผู้เล่นสามารถใช้คำสั่งหนึ่งได้โดยการกะพริบตาคล้ายกับการกดปุ่มลัดจึงน่าจะช่วยให้ประสบการณ์การเล่นดีขึ้น ในส่วนของวิธีที่สองอย่างการใช้ผ่านเมนูภายในเกม เกมทุกเกมล้วนใช้เมนูวงล้ออาวุธในการออกคำสั่งประเภทนี้ทั้งสิ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถใช้การกดปุ่มค้าง มอง แล้วปล่อยเช่นเดียวกับคำสั่งเปลี่ยนปืนได้ทันที ส่วนวิธีการสุดท้ายอย่างการใช้โดยอัตโนมัติ มักจะใช้กับการชะลอเวลาตามบริบทต่าง ๆ เช่น ขณะยกปืนขึ้นมาเล็ง ขณะศัตรูจะเข้ามาทำร้ายเมื่อพลังชีวิตเหลือน้อย เป็นต้น ซึ่งการใช้ความสามารถด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด



รูปที่ 20: การประเปิดด้วยปุ่มลัดในเกม Halo 3 [57]

#### 3.3.1.1.4 ประเภทการมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม

คำสั่งทั่วไปในประเภทนี้จะเป็นคำสั่งที่ใช้ได้เมื่อผู้เล่นยืนอยู่ใกล้และหันหน้ามองบางอย่างในเกมที่มีปฏิสัมพันธ์ด้วยได้ เช่น เปิดประตู เก็บสิ่งของ หรือคุยกับตัวละคร เป็นต้น

ถ้าเป็นการมีปฏิสัมพันธ์แบบธรรมดาที่ตัวละครในเกมไม่ต้องใช้ความพยายามมาก ผู้วิจัยจะให้ใช้การมองไปยัง HUD แล้วกดปุ่ม เนื่องจากตัวเกมจะต้องแจ้งผู้เล่นว่าเมื่อใดสามารถใช้คำสั่งได้ผ่าน HUD ที่ปรากฏขึ้นมา แต่ก็มีบางกรณีที่ตัวเกมต้องการสื่อถึงความยุ่งยากในการมีปฏิสัมพันธ์ผ่านการให้ผู้เล่นต้องกดปุ่มค้างเป็นเวลานาน ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าเหมาะกับการใช้ SSVEP มากกว่า

#### 3.3.1.1.5 ประเภทเมนูภายในเกม

นอกจากวงล้ออาวุธแล้ว เมนูภายในเกมที่พบได้ทั่วไป เช่น หยดชั่วคราว จัดการของในกระเป๋า แผนที่ เป็นต้น ถึงแม้ว่าเมนูเหล่านี้จะมีความคล้ายกับ HUD ซึ่งทำให้การมองไปที่ตัวเลือกต่าง ๆ แล้วกดปุ่มใช้ได้เหมือนกัน แต่ผู้วิจัยเห็นว่าเมนูเหล่านี้เป็นส่วนที่ผู้เล่นอยากใช้เวลาด้วยน้อยที่สุด ดังนั้นการใช้คีย์บอร์ดกับเมาส์เพื่อให้ผู้เล่นได้รับความสะดวกจึงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด ยกเว้นวงล้ออาวุธตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้

#### 3.3.1.1.4 สรุปวิธีการออกคำสั่งในตัวเกม

จากที่ได้กล่าวไปทั้งหมดจะเห็นว่า ถ้าผู้วิจัยต้องการออกแบบเกมให้เป็นเครื่องพิสูจน์ว่าระบบควบคุมที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ควบคุมเกมแนว FPS ที่วางขายในท้องตลาดได้จริง เกมที่ผู้วิจัยออกแบบจะต้องมีคำสั่งที่ใช้วิธีการออกคำสั่ง ดังนี้

- ใช้คีย์บอร์ดกับเมาส์
- ใช้โดยอัตโนมัติตามบริบท
- มอง
- มองไปที่ HUD แล้วกดปุ่ม (ใช้ปุ่มเดียวกันทุกคำสั่ง)
- กะพริบตาข้างหนึ่ง
- กะพริบตาข้างหนึ่งนานขึ้น
- มุ่งความสนใจไปที่ตัวกระตุ้น SSVEP

#### 3.3.1.2 พีเจอรที่ช่วยการควบคุมด้วยระบบ BCI

จากหัวข้อที่แล้ว จะพบว่ามึบางคำสั่งที่ผู้เล่นต้องมุ่งความสนใจไปยังตัวกระตุ้น SSVEP ระหว่างการต่อสู้ เช่น ยิงปืนบางประเภท หรือมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ผู้เล่นมีสมาธิในการจ้องตัวกระตุ้นได้อย่างเต็มที่ ตัวเกมจึงจำเป็นต้องชะลอเวลาให้ระหว่างที่ผู้เล่นกำลังจ้องตัวกระตุ้นอยู่

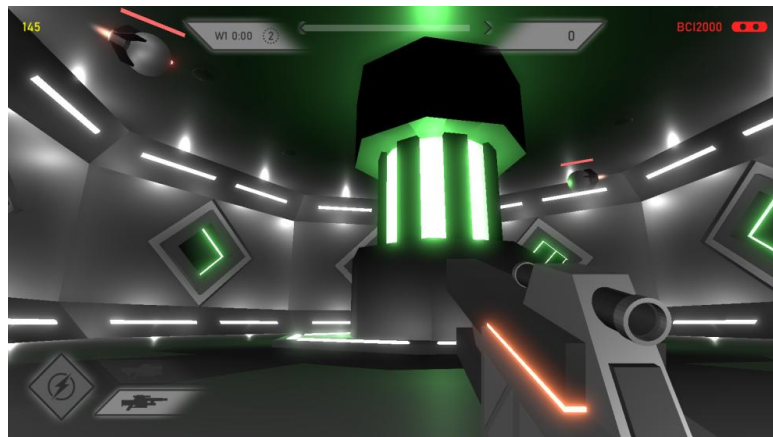
ทว่าการใช้พีเจอรนี้ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน เนื่องจากความไม่แน่นอนของการควบคุมด้วยสัญญาณ EEG ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างสัญญาณ EEG ของแต่ละบุคคล [4] ทำให้อาจมีบางครั้งที่แม้ผู้เล่นจะจ้องตัวกระตุ้นเป็นเวลานานแล้ว แต่ก็ยังไม่สามารถใช้คำสั่งที่ต้องการได้ ซึ่งนั่นหมายความว่าตัวเกมจะถูกชะลอเป็นเวลานานไปด้วย ส่วนผู้เล่นเองก็ติดอยู่กับการใช้คำสั่งเพียงคำสั่งเดียวจนรู้สึกเบื่อ ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหานี้ตัวเกมจึงต้องจำกัดระยะเวลาการชะลอ ถ้าเมื่อหมดเวลาแล้วยังพบว่าผู้เล่นยังจ้องตัวกระตุ้นอยู่ก็จะทำการออกคำสั่งให้ทันที ส่วนผู้เล่นที่ตั้งใจจ้องจนสามารถใช้คำสั่งได้ก่อน ตัวเกมก็ต้องให้รางวัลตอบแทนเพื่อสนับสนุนให้ผู้เล่นตั้งใจต่อไป

ทั้ง 2 พีเจอรนี้มีความเหมือนกันคือต้องใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเข้ามาช่วยจึงจะสามารถทำได้ ซึ่งทำให้ 2 พีเจอรนี้เข้ากับหลักการออกแบบของผู้วิจัย นั่นคือไม่สามารถทำได้ในระบบการควบคุมที่ใช้ BCI อย่างเดียว

#### 3.3.1.3 รูปแบบของตัวเกม

เมื่อนำวิธีการออกคำสั่งต่าง ๆ ที่ต้องมี และพีเจอรที่ช่วยการควบคุมด้วยระบบ BCI มารวมกับข้อจำกัดที่ผู้วิจัยต้องพัฒนาตัวเกมให้ออกมาสนุกและท้าทายความสามารถของผู้เล่นโดยใช้

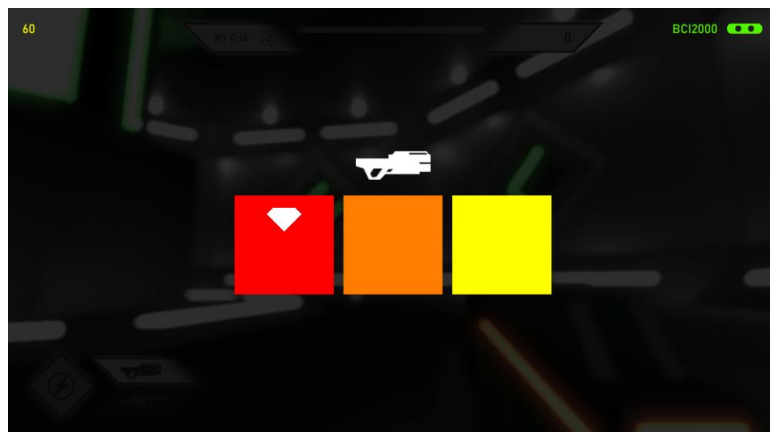
ทรัพยากรบุคคลและระยะเวลาที่จำกัดแล้ว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเกมชื่อ Core Defender ออกมาดังที่เห็นในรูปที่ 21



รูปที่ 21: ภาพจากเกม Core Defender

ในเกมนี้ผู้เล่นจะต้องใช้ทุกอย่างที่มี ทั้งอาวุธ ความสามารถพิเศษ และสภาพแวดล้อม ในการปกป้องกันวัตถุที่อยู่ตรงกลางห้องหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าคอร์ (Core) จากศัตรูที่พุ่งเข้าชนจำนวน 3 ระลอก และระหว่างระลอกตัวเกมก็จะเปิดโอกาสให้ผู้เล่นได้ซ่อมคอร์ก่อนเริ่มระลอกถัดไป ในด้านอาวุธผู้เล่นจะมีปืนอยู่ 2 กระบอกด้วยกัน คือไรเฟิลจู่โจม (Assault Rifle) และไรเฟิลซุ่มยิง (Sniper Rifle) ไรเฟิลจู่โจมเป็นปืนแบบอัตโนมัติที่สามารถเปลี่ยนโหมดการยิงได้ 3 รูปแบบอย่างที่เราเห็นในรูปที่ 22 คือโหมดกระสุนสีแดงที่ใช้ยิงศัตรูประเภทสีแดงได้ดี โหมดกระสุนสีเหลืองที่ใช้ยิงศัตรูประเภทสีเหลืองได้ดี และโหมดกระสุนสีส้มที่ใช้ยิงศัตรูทั้ง 2 ประเภท ส่วนไรเฟิลซุ่มยิงเป็นปืนแบบกึ่งอัตโนมัติที่มีโหมดการยิงเพียงรูปแบบเดียว เนื่องจากปืนกระบอกนี้ทรงพลังมากพอจนสามารถทำลายศัตรูทุกตัวได้ด้วยกระสุนเพียงนัดเดียว ในด้านความสามารถพิเศษ ผู้เล่นสามารถชะลอเวลาเพื่อให้ตัวกระตุ้น SSVEP ของบางคำสั่งปรากฏขึ้นมาแล้วใช้คำสั่งนั้นได้ โดยการชะลอจะคงอยู่นาน 8 วินาที และเมื่อหมดเวลาแล้วผู้เล่นจะต้องรอเวลาที่เรียกว่าคูลดาวน์นาน 5 วินาทีก่อนจึงจะสามารถชะลอเวลาได้อีกครั้ง เว้นแต่ถ้าผู้เล่นจะเลือกยกเลิกการใช้หรือใช้คำสั่ง SSVEP ได้ก่อนที่เวลาจะหมด ซึ่งในกรณีนี้เวลาคูลดาวน์จะเหลือเพียง 1 วินาทีเท่านั้น ในด้านสุดท้ายคือสภาพแวดล้อม ตัวคอร์จะมีระบบเลเซอร์ (Laser) ปกป้องตัวเองที่สามารถทำลายศัตรูทุกตัวที่เข้ามาใกล้ได้เป็นเวลานาน 7 วินาที โดยผู้เล่นสามารถเปิดใช้ได้ 2 ครั้งเท่านั้นตลอดการเล่นแต่ละครั้ง





รูปที่ 22: เมนูเลือกโหมดไรเฟิลจู่โจมของเกม Core Defender

จากรูปแบบของตัวเกมที่ได้กล่าวไป คำสั่งในเกมทั้งหมดและวิธีการออกคำสั่งต่าง ๆ สามารถ แจกแจงได้ ดังนี้

- เดิน: กดปุ่ม W/A/S/D
- หันหน้า: ขยับเมาส์
- ยิงไรเฟิลจู่โจม: ใช้โดยอัตโนมัติเมื่อขยับเป้าไปตรงตัวศัตรู
- เปิดเมนูเลือกโหมดไรเฟิลจู่โจม: กดปุ่ม E ค้างเมื่อมองบริเวณกลางจอและใช้ไรเฟิลจู่โจมอยู่
- เลือกโหมดไรเฟิลจู่โจม: มอง
- ปิดเมนูเลือกโหมดไรเฟิลจู่โจม: ปลปล่อยปุ่ม E เมื่อเปิดเมนูอยู่
- ยิงไรเฟิลซุ่มยิง: มุ่งความสนใจไปที่ตัวกระตุ่น SSVEP เมื่อยกปืนขึ้นมาเล็งและชะลอเวลาอยู่ (มีการใช้ให้โดยอัตโนมัติ)
- ยกปืนขึ้นมาเล็ง: กะพริบตาข้างหนึ่ง
- เปลี่ยนปืน: กดปุ่ม E เมื่อมอง HUD รูปไอคอนปืน
- ชะลอเวลา: กดปุ่ม E เมื่อมอง HUD รูปสายฟ้า, กะพริบตาข้างหนึ่งนานขึ้น, ใช้โดยอัตโนมัติ เมื่อยกไรเฟิลซุ่มยิงขึ้นมาเล็ง
- เปิดเลเซอร์: มุ่งความสนใจไปที่ตัวกระตุ่น SSVEP เมื่อเป้าเล็งตรงกับคอร์และชะลอเวลาอยู่ (มีการใช้ให้โดยอัตโนมัติ)
- ซ่อมคอร์: มุ่งความสนใจไปที่ตัวกระตุ่น SSVEP เมื่อเป้าเล็งตรงกับคอร์ (ไม่มีการใช้ให้โดยอัตโนมัติ)
- ข้ามช่วงเวลารอ: มุ่งความสนใจไปที่ตัวกระตุ่น SSVEP (มีการใช้ให้โดยอัตโนมัติ)

ความสนุกและท้าทายของเกมนี้จะมาจาก 2 ปัจจัยด้วยกัน คือการออกแบบด่าน และการ เล่นให้ได้คะแนนสูง

การออกแบบด่านของเกมนี้จะบังคับให้ผู้เล่นต้องเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากคอร์อยู่ตรงกลางด่านจึงบังคับไม่ให้ผู้เล่นเห็นจุดปล่อยศัตรูอย่างน้อย 1 จุดเสมอ จะบังมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับว่าผู้เล่นอยู่ใกล้คอร์มากเพียงใด ถ้าอยู่ใกล้ก็จะบังมากแต่ระยะทางเดินไปตรวจดูอีกฝั่งสั้น ถ้าอยู่ไกลก็จะบังน้อยแต่ต้องเสียเวลาเดินไปดูอีกฝั่งนาน ซึ่งผู้เล่นต้องวางแผนให้ดีว่าจะเดินอย่างไรให้ตรวจตราพื้นที่ได้มากที่สุดในเวลาที่มีน้อยที่สุด นอกจากนั้นด่านยังสร้างอุปสรรคให้กับผู้เล่นโดยการให้ศัตรูลอยอยู่เหนือผู้เล่นตลอดเวลา นั่นหมายความว่านอกจากผู้เล่นจะต้องตรวจดูศัตรูในระดับสายตาแล้ว ยังต้องตรวจดูในมุมที่สูงขึ้นจนถึงเหนือศีรษะด้วย ไม่เช่นนั้นถ้าหากผู้เล่นเดินมาถึงจุดหนึ่งแล้วมีศัตรูอยู่เหนือศีรษะพอดี ศัตรูตัวนั้นก็อาจจะหลุดลอดไปได้ง่าย ๆ

การเล่นให้ได้คะแนนสูงในเกมนี้ผู้เล่นต้องทำอยู่ 4 อย่างด้วยกัน นั่นคือใช้ไรเฟิลจู่โจมโหมดสี่แดงหรือสี่เหลืองทำลายศัตรูสี่ตัวด้วยกัน ใช้ไรเฟิลซุ่มยิงทำลายศัตรู ใช้เลเซอร์ทำลายศัตรู และพยายามซ่อมคอร์ให้น้อยครั้งที่สุด การทำ 3 อย่างแรกจะให้คะแนนพิเศษกับผู้เล่น โดยการใช้ไรเฟิลจู่โจมโหมดที่ถูกต้องจะให้คะแนนน้อยที่สุด ส่วนอีก 2 อย่างจะให้คะแนนเท่ากัน ดังนั้นผู้เล่นจึงต้องพยายามใช้คำสั่ง SSVEP ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งอุปสรรคหลักก็คือคูลดาวนหลังจากการใช้แต่ละครั้ง ถ้าหากผู้เล่นพลาดจนตัวเกมต้องออกคำสั่งให้โดยอัตโนมัติ ผู้เล่นก็ต้องรอคูลดาวนนาน ซึ่งจะนำไปสู่สถานการณ์ที่ผู้เล่นต้องตัดสินใจให้ดีว่าจะเอาตัวรอดไปก่อนโดยการหยิบไรเฟิลจู่โจมขึ้นมาใช้ รอจนกว่าไรเฟิลซุ่มยิงจะใช้ได้อีกครั้งเพื่อรักษาคะแนน หรือรอให้มีศัตรูเข้ามาใกล้คอร์จำนวนมากแล้วยอมเสียเลเซอร์ไปครั้งหนึ่ง ส่วนการทำอย่างสุดท้ายนั้นไม่ได้ให้คะแนนพิเศษกับผู้เล่น แต่เป็นการกันไม่ให้ผู้เล่นเสียค่าใช้จ่ายไปกับการซ่อมคอร์ ผู้เล่นไม่สามารถหลีกเลี่ยงการตัดสินใจนี้ได้เพราะว่าตัวเกมจะหักพลังชีวิตของคอร์ไป 30% ทุกครั้งหลังจบแต่ละระลอก แม้ว่าจะไม่ใช่ค่าใช้จ่ายที่สูงมาก แต่ถ้าผู้เล่นอยากได้คะแนนสูงสุดอย่างแท้จริงก็ต้องยอมเสี่ยงที่จะไม่ได้คะแนนติดมือเลยเช่นกัน

### 3.3.2 การออกแบบตัวกระตุ้น SSVEP

หลักการที่ผู้วิจัยใช้ในการออกแบบตัวกระตุ้นสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะอ้างอิงจากรายงานของ Zhu และคณะในปี 2010 [12] โดยในรายงานฉบับดังกล่าวได้กล่าวถึงปัจจัยหลัก ๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบตัวกระตุ้นไว้ 3 อย่างด้วยกัน ได้แก่ ประเภทของตัวกระตุ้น ความถี่ของตัวกระตุ้น และสีของตัวกระตุ้น

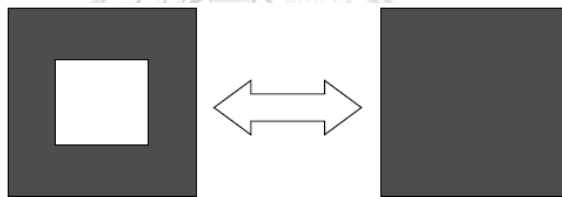
ในส่วนประเภทของตัวกระตุ้น ในรายงานฉบับดังกล่าวได้จัดแบ่งตัวกระตุ้นออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- **แสง (Light):** เป็นตัวกระตุ้นที่แสดงผลผ่านไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode: LED) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) แยกออกมาจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ต่างหากอย่างไรก็ตามรูปที่ 23 ซึ่งจะให้ความสว่างและความชัดเจนของ SSVEP ในสัญญาณได้ดีกว่าอีก 2 ประเภท [12]



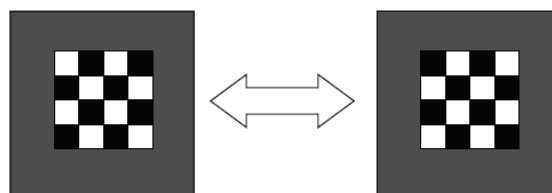
รูปที่ 23: ตัวกระตุ้นแบบแสง [37]

- กราฟิกเดี่ยว (Single Graphic): เป็นภาพกราฟิกแบบง่าย ๆ ที่กะพริบอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์อย่างในรูปที่ 24 ซึ่งจะทำให้ความชัดเจนของ SSVEP ในสัญญาณได้น้อยกว่าอีก 2 ประเภท [12]



รูปที่ 24: ตัวกระตุ้นแบบกราฟิกเดี่ยว [12]

- สลับรูปแบบ (Pattern Reversal): เป็นภาพกราฟิกที่มีรูปแบบคล้ายกัน 2 ภาพสลับกันไปมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์อย่างในรูปที่ 25 ซึ่งจะมีประสิทธิภาพด้อยกว่าประเภทแสง แต่ดีกว่าประเภทกราฟิกเดี่ยว [12]



รูปที่ 25: ตัวกระตุ้นแบบสลับลวดลาย [12]

จากตัวกระตุ้นทั้ง 3 ประเภทที่ได้กล่าวไป ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกใช้ประเภทกราฟิกเดี่ยวแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพด้อยที่สุด เนื่องจากหนึ่งในเป้าหมายของการพัฒนาคือต้องการสร้างตัวเกมที่มีความใกล้เคียงกับเกมอื่นในท้องตลาดมากขึ้น ซึ่งจะใกล้เคียงได้ ประการแรกคือต้องทำให้ตัวเกมติดตั้งง่ายขึ้นโดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์เสริมมากเกินไป ส่วนอีกประการหนึ่งคือต้องทำให้ภาพในเกม

ออกมาดูสวยงามและมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ซึ่งในจุดนี้ผู้วิจัยเห็นว่าการใช้ประเภทสลับ ลวดลายอาจทำให้ภาพของตัวเกมดูรกและไม่สวยงาม ต่างจากการใช้ประเภทกราฟิกเดียวที่จะทำให้ ได้ภาพออกมาในลักษณะเดียวกับในรูปที่ 26 ซึ่งดูแล้วสวยงามและเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่แล้ว ในหมู่เกมแนว FPS ในท้องตลาด



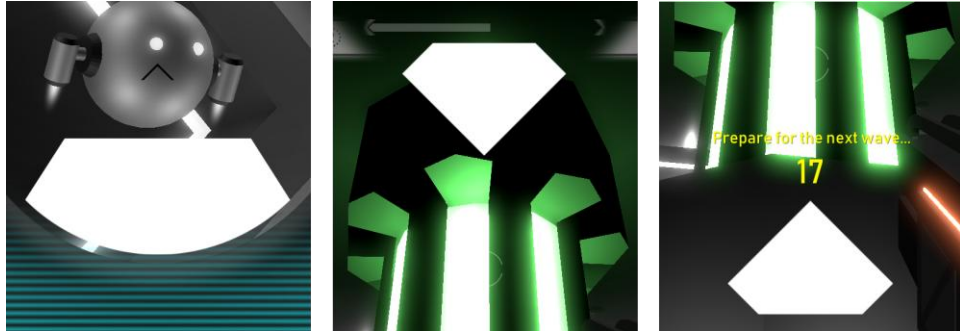
รูปที่ 26: ตัวอย่างการใช้กราฟิกแบบขาว-ดำในเกม [58]

ในส่วนสี่ของตัวกระตุ้น ในรายงานดังกล่าวได้ระบุถึงสิ่งที่นิยมใช้กันในวงการวิจัยเอาไว้ ได้แก่ สีเขียว สีแดง สีเทา สีขาว และสีดำ แต่ไม่ได้ระบุเอาไว้ว่าสีใดที่ดีที่สุดเนื่องจาก ณ เวลานั้นยังไม่มี การศึกษาเรื่องความเชื่อมโยงกันระหว่างสีของตัวกระตุ้นกับประสิทธิภาพของระบบ BCI ที่ใช้โมเดล SSVEP อย่างจริงจัง [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้สีขาวซึ่งเป็นสีที่ถูกเลือกใช้มากที่สุดในงานวิจัยที่ใช้ตัวกระตุ้นประเภทกราฟิกเดี่ยวเหมือนกัน [12]

ในส่วนสุดท้ายอย่างความถี่ของตัวกระตุ้น เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง หน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ ผู้วิจัยเลือกใช้จึงเป็นหน้าจอที่มีอัตราการรีเฟรช (Refresh Rate) อยู่ที่ 60Hz ซึ่งนั่นหมายความว่าถ้า ให้จำนวนเฟรมที่ตัวกระตุ้นปรากฏขึ้นมาและจำนวนเฟรมที่ตัวกระตุ้นหายไปมีค่าเท่ากัน ความถี่ที่ เลือกใช้ได้ก็จะเหลืออยู่เพียง 5 ความถี่เท่านั้น คือ 30Hz (1 เฟรม) 15Hz (2 เฟรม) 10Hz (3 เฟรม) 7.5Hz (4 เฟรม) และ 6Hz (5 เฟรม) ซึ่งเมื่อนำข้อจำกัดนี้มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลที่ได้กล่าวไปใน หัวข้อทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือความถี่ที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุดอยู่ที่ 15Hz [13] แล้ว ผู้วิจัยก็ตัดสินใจที่จะเลือกใช้ความถี่ 15Hz และถึงแม้ว่าความถี่นี้จะให้ผลออกมาไม่ดี นักในงานวิจัยของ Cruz และคณะ [37] แต่ผู้วิจัยก็คาดว่า การเปลี่ยนวิธีการจำแนกสัญญาณเป็นแบบ MDRM และการใช้ชีพไฟฟ้ามักขึ้นเป็น 8 ขั้วแทนจะช่วยแก้ไขในจุดนี้ได้

เมื่อนำปัจจัยทั้ง 3 อย่างมารวมกันแล้ว ผู้วิจัยจึงออกแบบตัวกระตุ้นออกมาได้อย่างในรูปที่ 27 โดยตัวกระตุ้นทางซ้ายเป็นของคำสั่งยิงไรเฟิลซุ่มยิง ตรงกลางเป็นของคำสั่งเปิดเลเซอร์และซ่อม

คอร์ ส่วนทางขวาเป็นของคำสั่งข้ามช่วงเวลาออ ซึ่งหลังจากนี้จะผู้วิจัยจะขอเรียกว่าตัวกระตุ้นตรงกลาง ข้างบน และข้างล่างตามลำดับ



รูปที่ 27: ตัวกระตุ้น SSVEP ของคำสั่งต่าง ๆ ในเกม Core Defender

ทว่าเมื่อนำตัวกระตุ้นเหล่านี้ไปใช้งานจริงแล้ว ผู้วิจัยพบว่ามึบบางกรณีที่ผู้เล่นเห็นการกะพริบไม่ชัดเนื่องจากตำแหน่งของตัวกระตุ้นไปตรงกับแสงจากคอร์พอดิ เพื่อรักษาให้ประสิทธิภาพของตัวกระตุ้นคงที่ และให้การออกแบบฉากในเกมไม่ถูกจำกัดว่าต้องอยู่ในโทนมืดเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาพีเจอร์ใหม่คือการไฮไลต์ตัวกระตุ้น นั่นคือเมื่อผู้เล่นจ้องไปที่ตัวกระตุ้นใด ภาพในเกมทั้งหมดยกเว้นตัวกระตุ้นนั้นจะถูกทำให้มืดลงอย่างที่เห็นในรูปที่ 28 ซึ่งนับว่าเป็นอีกพีเจอร์หนึ่งที่ไม่สามารถทำได้ในระบบควบคุมที่ใช้ BCI อย่างเดียว



รูปที่ 28: การไฮไลต์ตัวกระตุ้น SSVEP ในเกม Core Defender

### 3.3.3 การเชื่อมต่อระบบควบคุมเข้ากับตัวเกม

ในขั้นแรกตัวเกมจะถูกพัฒนาให้รองรับคีย์บอร์ดกับเมาส์และเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองก่อน โดยเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ Tobii Eye Tracker 4C [59] ซึ่งจะ

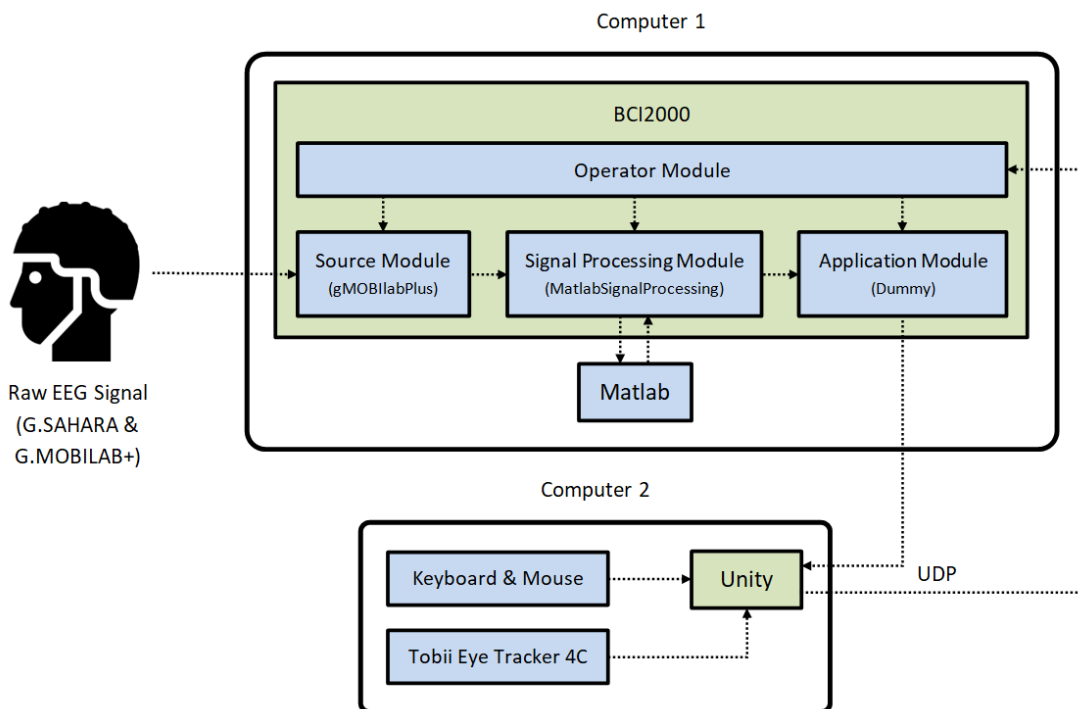
เชื่อมต่อกับ Unity ผ่าน Low-level Software Development Kit (SDK) ของทางผู้ผลิตอย่าง Stream Engine SDK [60] สาเหตุที่ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้ Low-level SDK แม้ว่าทางผู้ผลิตจะมี Tobii Unity SDK [61] ซึ่งใช้ง่ายกว่าเอาไว้ให้ ก็เพราะว่าผู้วิจัยไม่สามารถพัฒนาพีเจอร์ทรจวบการกะพริบตาข้างเดียวได้ด้วย Tobii Unity SDK

เมื่อพัฒนาตัวเกมในขั้นแรกเสร็จแล้ว ผู้วิจัยจึงจะทำการเชื่อมต่อเครื่องตรวจวัดสัญญาณ ตัวประมวลผลสัญญาณ และตัวเกมเข้าด้วยกัน แต่เนื่องจาก Unity และ Matlab ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำงานร่วมกัน และ Matlab เองก็ไม่สามารถรับสัญญาณดิบจากเครื่องตรวจวัดสัญญาณโดยตรงได้ [37] ผู้วิจัยจึงต้องใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ BCI2000 [62] เข้ามาช่วยในการเชื่อมต่อองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกัน

การทำงานของ BCI2000 จะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง 4 โมดูล (Module) คือโมดูลรับสัญญาณ (Source Module) โมดูลประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Module) โมดูลแอปพลิเคชัน (Application Module) และโมดูลควบคุมระบบ (Operator Module) โดย 3 โมดูลแรก ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการ ส่วนโมดูลสุดท้ายจะทำหน้าที่เชื่อมต่อและกำหนดพฤติกรรมของแต่ละโมดูลตามสถานะปัจจุบันของระบบ ในส่วนของโมดูลรับสัญญาณกับโมดูลประมวลผลสัญญาณ ผู้วิจัยจะใช้โมดูล gMOBilabPlus กับ MatlabSignalProcessing ที่ทาง BCI2000 พัฒนาไว้ให้ โมดูล MatlabSignalProcessing จะรับสัญญาณต่อจากโมดูล gMOBilabPlus แล้วส่งต่อไปยังตัวประมวลผลสัญญาณที่ผู้วิจัยพัฒนาไว้ใน Matlab และเมื่อ Matlab ประมวลผลเสร็จแล้ว ผลนั้นก็จะถูกส่งกลับมายังโมดูล MatlabSignalProcessing ก่อนจะถูกส่งต่อไปยังโมดูลปลายทางอย่างโมดูลแอปพลิเคชันต่อไป ในส่วนของโมดูลแอปพลิเคชัน เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการทำให้เกม Unity มารับหน้าที่นี้โดยตรงได้ ผู้วิจัยจึงตัดสินใจใช้แอปพลิเคชันเปล่าของ BCI2000 ซึ่งทำได้เพียงส่งข้อความผ่าน User Datagram Protocol (UDP) ส่งข้อความไปหาคอมพิวเตอร์ที่รันเกมอยู่แทน และถ้าหากตัวเกมต้องการสั่งให้ BCI2000 ทำการบันทึกสัญญาณเพื่อนำไปฝึกตัวประมวลผลสัญญาณต่อ ก็ให้ตัวเกมส่งข้อความกลับมาหาโมดูลควบคุมระบบในลักษณะเดียวกัน

จากที่ได้กล่าวไปทั้งหมด การเชื่อมต่อระบบควบคุมเข้ากับตัวเกมสามารถสรุปออกมาได้อย่างในรูปที่ 29 ดังนี้



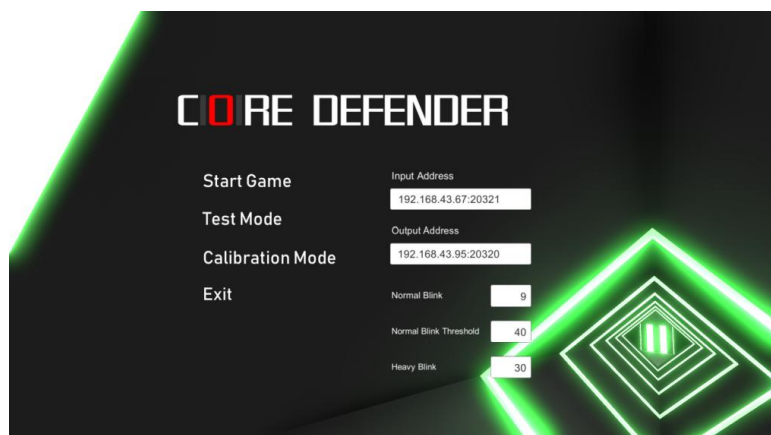


รูปที่ 29: การเชื่อมต่อระบบควบคุมเข้ากับตัวเกม

### 3.3.4 การออกแบบการตรวจจ็ับการกะพริบตาข้างเดียว

จากประสบการณ์ส่วนตัวของผู้วิจัย การกะพริบตาข้างเดียวของแต่ละคนมีความแตกต่างกันมาก บางคนสามารถทำได้ดีทั้ง 2 ข้าง บางคนสามารถทำได้ดีข้างเดียว บางคนต้องกะพริบตาทั้ง 2 ข้างก่อนแล้วค่อย ๆ สลับตาข้างหนึ่งขึ้นมา ถ้าผู้วิจัยต้องการให้ผู้เล่นเกมทุกคนสามารถควบคุมเกมได้ ผู้วิจัยก็ต้องออกแบบการตรวจจ็ับการกะพริบตาข้างเดียวให้รองรับทุกกรณีและแยกความแตกต่างระหว่างการกะพริบตาข้างเดียวกับการกะพริบตาปกติให้ได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่ให้เกิดการตรวจจ็ับใช้เวลานานเกินไปจนยากต่อการใช้งาน

ดังนั้นการออกคำสั่งด้วยการกะพริบตาข้างเดียวในเกมนี้จึงจะไม่บังคับว่าผู้เล่นต้องกะพริบตาข้างใด ไม่ว่าผู้เล่นจะถนัดตาซ้าย ตาขวา หรือทำข้างหนึ่งอยู่นานแล้วอยากเปลี่ยนไปใช้อีกข้างก็สามารถทำได้ทั้งสิ้น ตัวเกมจะไม่บังคับว่าผู้เล่นต้องสลับตาข้างหนึ่งอยู่ตลอดเวลา แต่จะใช้วิธีการนับว่าจำนวนเฟรมที่ตัวเกมตรวจไม่พบตาข้างหนึ่งมีมากเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ (Percentage) ของจำนวนเฟรมที่ตัวเกมตรวจไม่พบตาข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์นี้ผู้เล่นสามารถปรับได้ตามความต้องการ นอกจากนั้นแล้วตัวเกมยังเปิดโอกาสให้ผู้เล่นสามารถปรับได้อีก 2 ค่า คือจำนวนเฟรมที่ตรงกับความยาวในการกะพริบตาข้างหนึ่งของตัวเอง กับจำนวนเฟรมที่ตรงกับความยาวในการกะพริบตาข้างหนึ่งแบบยาวขึ้นเล็กน้อยของตัวเอง โดยค่าทั้งหมดนี้สามารถทำได้ในหน้าเมนูหลักอย่าง que เห็นในรูปที่ 30



รูปที่ 30: การปรับแต่งค่าเกี่ยวกับการตรวจจับการกะพริบตาข้างเดียวในหน้าเมนูหลักของ Core Defender

### 3.3.5 การออกแบบการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณ

ผู้วิจัยออกแบบให้การฝึกตัวประมวลผลสัญญาณสามารถทำได้ผ่านตัวเกมใน Calibration Mode ซึ่งเห็นได้ในหน้าเมนูหลักอย่างในรูปที่ 30 โดยในโหมดดังกล่าวผู้เล่นจะต้องผ่านกระบวนการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ฝึกให้ผู้เล่นคุ้นเคยกับตัวกระตุ้นในขั้นต้น โดยให้จ้องตัวกระตุ้นด้านล่างแต่ยังไม่บันทึกสัญญาณ
2. ฝึกให้ตัวประมวลผลรู้จักสถานะที่ผู้เล่นไม่ได้ใช้คำสั่งอะไร โดยให้ยกไรเฟิลช่มยิงขึ้นมาเลี้ยงไปที่ศัตรูและชะลอเวลาเพื่อเปิดตัวกระตุ้นตรงกลางขึ้นมา แต่ห้ามจ้องตัวกระตุ้น ให้จ้องไปที่ศัตรูทั้งหมด 8 ครั้ง
3. ฝึกให้ผู้เล่นใช้คำสั่งช่อมคอร์ เปิดเลเซอร์ และข้ามช่วงเวลารอ โดยให้จ้องตัวกระตุ้นข้างบนก่อน จากนั้นจ้องตัวกระตุ้นข้างล่าง
4. ฝึกให้ผู้เล่นใช้ไรเฟิลช่มยิง โดยให้ทำเหมือนในขั้นตอนที่ 2 แต่เปลี่ยนเป็นจ้องตัวกระตุ้นตรงกลางแทน
5. ฝึกให้ผู้เล่นใช้คำสั่งช่อมคอร์ เปิดเลเซอร์ และข้ามช่วงเวลารออีกครั้ง

ในทุกขั้นตอนที่ได้กล่าวไป จะเห็นว่าผู้เล่นต้องจ้องบางอย่างบนหน้าจอเสมอ ซึ่งการจ้องที่ถือว่าผ่านคือผู้เล่นจะต้องมองไปที่จุดที่กำหนดโดยไม่กะพริบตาเป็นเวลานาน 5 วินาที สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือก 5 วินาทีก็เพราะว่า จากผลการวิจัยของ Kalunga และคณะ [16] SSVEP จะแสดงออกมาอย่างชัดเจนในสัญญาณที่เวลา 2 วินาทีหลังจากผู้ร่วมทดสอบเริ่มจ้องตัวกระตุ้น ส่วนเวลาอีก 3 วินาทีที่เหลือมาจากการตัดสินใจใช้ช่วงสัญญาณขนาด 2.5 วินาทีในการประมวลผลสัญญาณแต่ละครั้งของผู้วิจัยเอง แต่เพิ่มเวลาไปอีก 0.5 วินาทีเพื่อความมั่นใจว่าสัญญาณที่ได้จะมีความคงที่มากขึ้น



### 3.4 การทดสอบและประเมินผล

การทดสอบนี้มีผู้ร่วมทดสอบจำนวน 10 คน ซึ่งทุกคนไม่เคยมีประวัติว่าเคยป่วยเป็นโรคลมชักมาก่อน อายุของผู้ร่วมทดสอบ 9 คนอยู่ในช่วง 21-26 ปี ส่วนผู้ร่วมทดสอบคนสุดท้ายมีอายุ 46 ปี สถานที่ที่ใช้ทดสอบเป็นห้องที่ถูกปิดม่านให้แสงเข้าน้อยลงตรงบริเวณที่ทดสอบ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอยู่ใกล้เพียงแหล่งเดียวเท่านั้นเพื่อกันไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนในสัญญาณ EEG มากเกินไป การทดสอบถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. ทดสอบการควบคุมด้วยเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง: ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการให้ผู้ร่วมทดสอบผ่านกระบวนการสร้างโปรไฟล์ (Profile) ของ Tobii เพื่อปรับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองให้เข้ากับตัวเองก่อนอย่างในรูปที่ 31 จากนั้นผู้วิจัยจะให้ผู้ร่วมทดสอบทดลองเล่นเกมโดยไม่ใช้ SSVEP ใน Test Mode ซึ่งเป็นโหมดที่พลังชีวิตของคอร์ไรซีติจำกัดเพื่ออธิบายวิธีการเล่นและให้ผู้ร่วมทดสอบได้ทดลองตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจจับการกะพริบตาข้างเดียวดูว่าค่าใดเหมาะสมกับตัวเองที่สุด เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วผู้วิจัยจึงจะเริ่มการทดสอบโดยให้ผู้ร่วมทดสอบเล่น Test Mode เช่นเดิมและสั่งให้ผู้ร่วมทดสอบใช้คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง ได้แก่ ยกปิ่นขึ้นมาเล็ง ชะลอเวลาด้วยการกะพริบตาข้างหนึ่ง ชะลอเวลาด้วยการมองแล้วกด เปลี่ยนปิ่น และเปลี่ยนโหมดโรเฟิลจุ่ม โดยจะสั่งแบบสุ่มคำสั่งละ 10 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งเมื่อผู้ร่วมทดสอบใช้คำสั่งเสร็จแล้วก็ให้รายงานว่าใช้ความพยายามกี่ครั้งถึงใช้สำเร็จ และตลอดเวลาทดสอบเมื่อใดที่ผู้ร่วมทดสอบเห็นว่าตัวเกมมีการใช้คำสั่งที่ตัวเองไม่ได้ตั้งใจก็ให้แจ้งผู้วิจัยทันที



รูปที่ 31: กระบวนการสร้างโปรไฟล์ของ Tobii

2. ทดสอบการควบคุมด้วย SSVEP: ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการติดตั้งขั้วรับสัญญาณ EEG บนศีรษะของผู้ร่วมทดสอบก่อน เมื่อผู้ร่วมทดสอบผ่านกระบวนการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณใน Calibration Mode อย่างที่เห็นในรูปที่ 32 แล้ว ผู้วิจัยจึงจะเริ่มการทดสอบโดยให้ผู้ร่วมทดสอบเล่น

Test Mode และใช้คำสั่งที่ต้องส่งผ่าน SSVEP ได้แก่ ยิงไรเฟิลซุ่มยิง เปิดเลเซอร์ ซ่อมคอร์ และข้าม  
ช่วงเวลารอ ตามลำดับคำสั่งละ 10 ครั้ง ซึ่งตัวเกมจะบันทึกผลให้อัตโนมัตินับว่าผู้ร่วมทดสอบใช้คำสั่งได้  
สำเร็จหรือไม่ และใช้เวลานานเท่าใดนับตั้งแต่เริ่มจ้องตัวกระตุ้น



รูปที่ 32: กระบวนการฝึกตัวประมวลผลสัญญาณ

3. ทดลองเล่นจริง: ผู้ร่วมทดสอบจะต้องพยายามเล่นเกมตั้งแต่ต้นจนจบอย่างน้อย 1 รอบ  
โดยก่อนเริ่มเล่นผู้วิจัยจะแจ้งผู้ร่วมทดสอบว่าถ้าหากสามารถทำคะแนนได้เกิน 80% ของคะแนน  
ทั้งหมดที่เป็นไปได้ ผู้ร่วมทดสอบจะได้รับเงินรางวัล 100 บาท เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ร่วมทดสอบ  
พยายามเล่นให้ดีที่สุด ในขั้นตอนนี้จะไม่มีการให้ผู้ร่วมทดสอบรายงานผลว่าใช้ความพยายามกี่ครั้งใน  
การออกคำสั่งเกี่ยวกับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองเพื่อให้ผู้ร่วมทดสอบมีอิสระในการเล่นอย่าง  
เต็มที่ ดังนั้นเพื่อให้การเก็บผลการทดสอบเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ผู้วิจัยจึงตัดสินใจไม่เก็บสถิติการ  
ใช้คำสั่ง SSVEP ต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้ด้วยเช่นกัน แต่จะเก็บเพียงอัตราส่วนการใช้ไรเฟิลทั้ง 2 ชนิด  
เปอร์เซ็นต์ของคะแนนที่ได้เมื่อเทียบกับคะแนนเต็ม และผลว่าเล่นผ่านหรือไม่ผ่าน

4. ตอบแบบสอบถาม: ผู้ร่วมทดสอบจะต้องตอบแบบสอบถามหลังเล่นเสร็จ โดย  
แบบสอบถามนี้ประยุกต์มาจากโมเดลหลักของแบบสอบถามประสบการณ์การเล่นที่ถูกพัฒนาโดย  
Poels และคณะ [63] ซึ่งแบ่งการประเมินออกเป็น 7 ด้าน ได้แก่ Competence, Sensory &  
Immersion, Flow, Tension, Challenge, Negative Affect และ Positive Affect โดยแต่ละด้าน  
มีจุดประสงค์ในการประเมินและประกอบด้วยคำถามของผู้วิจัย ดังนี้

- Competence: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าคิดว่าตัวเองมีความสามารถ  
พอในการเล่นหรือไม่ และเมื่อเล่นแล้วได้บรรลุเป้าหมายบางอย่างหรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้  
ประกอบด้วย

- คุณไม่ต้องจำคำสั่งเยอะ
- คุณสามารถทำความเข้าใจวิธีการเล่นได้อย่างรวดเร็ว

- คุณสามารถใช้คำสั่งตรงตามความต้องการได้อย่างง่ายดาย
- คุณคิดว่าคุณสามารถทำเต็มที่ได้ดีสำหรับการเล่นครั้งแรก
- Sensory & Immersion: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าการออกแบบงานภาพและการเล่าเรื่องของตัวเกมสามารถดึงดูดความสนใจของผู้เล่นได้หรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย
  - คุณคิดว่าตัวกระตุ้นถูกจัดวางในเกมได้อย่างกลมกลืน
  - คุณคิดว่าคำสั่งที่ใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองทำให้คุณเหมือนอยู่ในเกมมากขึ้น
- Flow: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าระบบการเล่นของตัวเกมสามารถดึงดูดความสนใจของผู้เล่นได้หรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย
  - คุณรู้สึกว่ามีสมาธิระหว่างเล่น
  - คุณรู้สึกว่าเล่นจนลืมเวลา
- Tension: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าตัวเกมทำให้ผู้เล่นรู้สึกเครียดกดดัน รำคาญ หรือไม่ได้ตั้งใจหรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย
  - คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้กะพริบตาข้างเดียว
  - คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้จ้องตัวกระตุ้น
  - คุณรู้สึกว่าอาการกะพริบตาข้างเดียวเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ
  - คุณรู้สึกว่าอาการจ้องตัวกระตุ้นเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ
- Challenge: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าตัวเกมให้ความรู้สึกท้าทายกับผู้เล่นหรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย
  - คุณรู้สึกว่าการเล่นให้ได้คะแนนสูง ๆ เป็นเรื่องท้าทาย
  - คุณรู้สึกว่าต้องการเล่นอีกครั้งเพื่อให้ได้คะแนนสูงขึ้น
- Negative Affect: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าโดยรวมแล้วผู้เล่นมีความรู้สึกแง่ลบกับตัวเกมหรือไม่ และตัวเกมส่งผลในแง่ลบกับผู้เล่นหรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย
  - คุณคิดว่าเกมน่าเบื่อ
  - คุณคิดถึงเรื่องอื่นระหว่างเล่น
  - คุณต้องฟังสมาธิมากจนรู้สึกเหนื่อย
  - คุณต้องกะพริบตาบ่อยจนทำให้ไม่มีสมาธิในการเล่น
  - คุณรู้สึกเวียนศีรษะหลังจากเล่นจบ

- Positive Affect: การประเมินด้านนี้จะเน้นถามผู้เล่นว่าโดยรวมแล้วผู้เล่นมีความรู้สึกแง่บวกกับตัวเกมหรือไม่ และตัวเกมส่งผลในแง่บวกกับผู้เล่นหรือไม่ คำถามที่ผู้วิจัยใช้ประกอบด้วย

- คุณรู้สึกสนุกกับการเล่น
- คุณคิดว่าเกมช่วยฝึกสมาธิของคุณให้ดีขึ้น

ทุกคำถามที่ได้กล่าวไปนั้น ผู้ร่วมทดสอบจะต้องตอบในรูปแบบการให้คะแนนตั้งแต่ 0-4 ซึ่งศูนย์หมายความว่าไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ส่วนสี่หมายความว่าเห็นด้วยอย่างยิ่ง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 4: ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

### 4.1 ผลการทดสอบเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง

ก่อนเริ่มการทดสอบผู้วิจัยได้ขอให้ผู้ร่วมทดสอบแต่ละคนกะพริบตาข้างเดียวให้ดู จากการสังเกตพบว่าจากผู้ร่วมทดสอบจำนวน 10 คน มีเพียงคนเดียวเท่านั้นที่สามารถกะพริบตาข้างเดียวได้ดี ซึ่งถือว่าน้อยกว่าที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้มาก แต่ถึงกระนั้นผลการทดสอบก็ยังแสดงให้เห็นว่าผู้ร่วมทดสอบสามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองได้ดี เห็นได้จากผลการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในตารางที่ 3 ที่มีอัตราการใช้ได้ครั้งแรกต่ำสุดอยู่ที่ 70% สูงสุดอยู่ที่ 100% เฉลี่ยอยู่ที่ 87% และมีจำนวนความพยายามเฉลี่ยก่อนใช้ได้สูงสุดอยู่ที่ 1.4 ครั้ง ต่ำสุดอยู่ที่ 1 ครั้ง เฉลี่ยอยู่ที่ 1.135 ครั้ง นอกจากนั้นจำนวนคำสั่งที่ใช้โดยไม่ได้ตั้งใจในตารางที่ 5 ยังแสดงให้เห็นว่าตัวเกมสามารถแยกความแตกต่างระหว่างการกะพริบตาข้างเดียวกับการกะพริบตาปกติได้เป็นอย่างดี แม้ว่าผู้ร่วมทดสอบคนหนึ่งจะมีอัตราการใช้คำสั่งโดยไม่ได้ตั้งใจสูงถึง 10.714% แต่โดยรวมแล้วจากจำนวนการใช้คำสั่งทั้งหมด 522 ครั้ง มีการใช้คำสั่งโดยไม่ได้ตั้งใจเพียง 22 ครั้งหรือคิดเป็น 4.215% เท่านั้น ผู้วิจัยคาดว่าที่ผลออกมาเป็นเช่นนี้แม้ว่าผู้ร่วมทดสอบส่วนใหญ่จะกะพริบตาข้างเดียวได้ไม่ถี่ ก็เพราะว่าตัวเกมเปิดโอกาสให้ผู้ร่วมทดสอบแต่ละคนสามารถปรับค่าตัวแปรเกี่ยวกับการตรวจจับการกะพริบตาข้างเดียวได้อย่างอิสระ

ส่วนผลการทดสอบคำสั่งที่ไม่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในตารางที่ 4 ให้ผลออกมาดีกว่าคำสั่งที่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในทุกด้านอย่างที่คุณวิจัยคาดหวังไว้ โดยมีอัตราการใช้ได้ครั้งแรกต่ำสุดอยู่ที่ 80% สูงสุดอยู่ที่ 100% เฉลี่ยอยู่ที่ 96.333% และมีจำนวนความพยายามเฉลี่ยก่อนใช้ได้สูงสุดอยู่ที่ 1.2 ครั้ง ต่ำสุดอยู่ที่ 1 ครั้ง เฉลี่ยอยู่ที่ 1.037 ครั้ง

ตารางที่ 3: ผลการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้การกะพริบตาข้างเดียวในการควบคุม

	ยกปิ่นขึ้นมาเล็ง		ชะลอเวลา		ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)
	ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)	ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)		
1	70	1.4	100	1	85	1.2
2	100	1	100	1	100	1
3	90	1.1	90	1.1	90	1.1
4	90	1.1	70	1.3	80	1.2
5	100	1	70	1.3	85	1.15
6	80	1.2	100	1	90	1.1
7	100	1	100	1	100	1
8	70	1.3	70	1.3	70	1.3
9	100	1	70	1.3	85	1.15
10	80	1.2	90	1.1	85	1.15

เฉลี่ย	88	1.13	86	1.14	87	1.135
--------	----	------	----	------	----	-------

ตารางที่ 4: ผลการทดสอบคำสั่งที่ไม่ต้องใช้ใช้การกะพริบตาข้างเดียวในการควบคุม

	เปลี่ยนปีน		ชะลอเวลา		เปลี่ยนโหมดโรเฟิลจุ่ม		ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)
	ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)	ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)	ใช้ได้ครั้งแรก (%)	ความพยายามเฉลี่ย (ครั้ง)		
1	80	1.2	100	1	80	1.2	86.667	1.133
2	100	1	100	1	100	1	100	1
3	100	1	100	1	90	1.1	96.667	1.033
4	100	1	100	1	100	1	100	1
5	80	1.2	100	1	90	1.1	90	1.1
6	90	1.1	100	1	100	1	96.667	1.033
7	100	1	100	1	100	1	100	1
8	100	1	100	1	100	1	100	1
9	100	1	100	1	100	1	100	1
10	80	1.2	100	1	100	1	93.333	1.067
เฉลี่ย	93	1.07	100	1	96	1.04	96.333	1.037

ตารางที่ 5: จำนวนคำสั่งที่ใช้โดยไม่ได้ตั้งใจระหว่างการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง

	ใช้คำสั่งทั้งหมด (ครั้ง)	ใช้คำสั่งโดยไม่ได้ตั้งใจ (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์
1	54	4	7.407
2	51	1	1.961
3	51	1	1.961
4	52	2	3.846
5	51	1	1.961
6	51	1	1.961
7	56	6	10.714
8	53	3	5.66
9	52	2	3.846
10	51	1	1.961
รวม	522	22	4.215

#### 4.2 ผลการทดสอบระบบ BCI

ความแตกต่างระหว่างผลการทดสอบแต่ละคำสั่งมีมากกว่าที่ผู้วิจัยคาดหมายไว้มาก จากที่เห็นในตารางที่ 6 คำสั่งยิงโรเฟิลซุ่มยิงให้ผลออกมาที่น่าพอใจที่สุด คือจาก 10 ครั้งผู้ร่วมทดสอบมีอัตราการใช้สำเร็จได้ด้วยตัวเองต่ำสุดอยู่ที่ 5 ครั้ง สูงสุด 9 ครั้ง เฉลี่ย 7.1 ครั้ง และใช้เวลาในการจ้องตัวกระตุ้นต่ำสุด 1.764 วินาที สูงสุด 4.736 วินาที เฉลี่ย 3.569 วินาที ในขณะที่คำสั่งเปิดเลเซอร์ให้ผลออกมาแย่มากที่สุด คือจาก 10 ครั้งผู้ร่วมทดสอบมีอัตราการใช้สำเร็จได้ด้วยตัวเองต่ำสุดอยู่ที่ 1 ครั้ง

สูงสุด 9 ครั้ง เฉลี่ย 4.9 ครั้ง และใช้เวลาในการจ้องตัวกระตุ้นต่ำสุด 1.992 วินาที สูงสุด 6.7 วินาที เฉลี่ย 3.413 วินาที สิ่งที่น่าสนใจคือเวลาในการจ้องตัวกระตุ้นที่กล่าวถึงนี้จะไม่นำเวลาในกรณีที่ตัวเกมใช้คำสั่งให้อัตโนมัตกับใช้เวลานานเกิน 8 วินาทีมาคำนวณด้วย

ผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุที่ทำให้ผลออกมาเป็นเช่นนี้มีอยู่ 3 ประการด้วยกัน ประการแรกคือขนาด กับตำแหน่งของตัวกระตุ้น ขนาดของตัวกระตุ้นด้านบนกับด้านล่างมีขนาดเล็กกว่าตัวกระตุ้นตรงกลาง อย่างชัดเจน ส่วนตำแหน่งของตัวกระตุ้นด้านบนมีผู้ร่วมทดสอบคนหนึ่งให้ความคิดเห็นว่าทำให้ยาก ต่อการจ้องมากกว่าตัวกระตุ้นอีกสองตัว ซึ่งก็สอดคล้องกับลำดับคำสั่งที่ผู้ร่วมทดสอบใช้ได้ที่ดีที่สุดในการ ผล ที่ออกมา ประการที่สองคือความกดดันในการใช้คำสั่ง แม้ว่าคำสั่งเปิดเลเซอร์จะต้องใช้ระหว่างศัตรู กำลังพุ่งเข้ามาเช่นเดียวกับคำสั่งยิงไรเฟิลชูมยิง แต่คำสั่งเปิดเลเซอร์อาจมีความกดดันในการใช้ มากกว่าเนื่องจากผู้ร่วมทดสอบต้องละสายตาจากศัตรูจนอาจสร้างความกังวลให้กับผู้ร่วมทดสอบได้ ว่าศัตรูเข้ามาใกล้มากขึ้นแล้วเท่าใด ส่วนคำสั่งช่อมอร์ที่ให้ผลแยเป็นอันดับสองก็อาจมีความกดดันใน การใช้ด้วยเช่นกัน เพราะเป็นคำสั่งเดียวที่ไม่มีการใช้ให้โดยอัตโนมัติ และผู้ร่วมทดสอบต้องจ้อง ตัวกระตุ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าพลังของคอร์จะเต็มจึงอาจทำให้ผู้ร่วมทดสอบเสียสมาธิไปมองปรอทพลัง ของคอร์ซึ่งอยู่ติดกับตัวกระตุ้นได้ ประการสุดท้ายที่ผู้วิจัยคาดว่าส่งผลกระทบต่อทุกคำสั่งคือการ เปลี่ยนช่วงสัญญาณที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละครั้งจาก 4 วินาทีเป็น 2.5 วินาที ซึ่งผู้วิจัยคาดไว้แล้ว ว่าจะส่งผลให้ความแม่นยำของตัวประมวลผลสัญญาณลดลง แต่ยังไม่อาจทราบได้ว่าลดลงมากน้อย เท่าใด

ตารางที่ 6: ผลการทดสอบคำสั่งที่ต้องใช้ BCI ในการควบคุม

	ยิงไรเฟิลชูมยิง			เปิดเลเซอร์			ข้ามช่วงเวลา			ช่อมอร์			
	ใช้เอง (ครั้ง)	อัตโนมัติ (ครั้ง)	ใช้เวลา (ว.)	ใช้เอง (ครั้ง)	อัตโนมัติ (ครั้ง)	ใช้เวลา (ว.)	ใช้เอง (ครั้ง)	อัตโนมัติ (ครั้ง)	ใช้เวลา (ว.)	<8 ว. (ครั้ง)	>=8 ว. (ครั้ง)	ใช้ไม่ได้ (ครั้ง)	ใช้เวลา (ว.)
1	7	3	1.764	5	5	2.41	4	6	2.421	6	2	2	2.792
2	9	1	4.478	3	7	5.1	9	1	3.095	2	4	4	1.942
3	9	1	4.042	7	3	2.355	10	0	3.542	8	0	2	2.265
4	6	4	3.778	6	4	2.383	8	2	2.223	9	1	0	4.946
5	5	5	3.045	8	2	2.531	7	3	3.684	8	2	0	3.992
6	7	3	4.736	3	7	3.928	4	6	3.658	1	6	3	7.85
7	6	4	2.752	5	5	3.703	8	2	2.669	6	4	0	3.672
8	8	2	4.492	1	9	6.7	6	4	5.078	4	3	3	5.65
9	7	3	3.088	2	8	1.992	6	4	2.808	2	5	3	5.567
10	7	3	3.519	9	1	3.031	6	4	3.111	8	2	0	1.964
เฉลี่ย	7.1	2.9	3.569	4.9	5.1	3.413	6.8	3.2	3.229	5.4	2.9	1.7	4.064

### 4.3 ผลการทดสอบเมื่อเล่นจริง

ผลการทดสอบในขั้นนี้สามารถเห็นได้ในตารางที่ 7 โดยผู้วิจัยจะแยกการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ประเด็นด้วยกัน คือประเด็นด้านวิธีการทำลายศัตรู กับประเด็นด้านคะแนนกับผลการเล่น

ในด้านวิธีการทำลายศัตรู จากผลการเล่นจริงของผู้ร่วมทดสอบทั้ง 10 คนจะเห็นว่าการใช้งานคำสั่ง SSVEP เพื่อทำลายศัตรูของผู้ร่วมทดสอบคนที่ 1-7 สูงกว่าผู้ร่วมทดสอบคนที่ 8-10 อย่งเห็นได้ชัด ผู้วิจัยจึงสามารถแบ่งผู้ร่วมทดสอบได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ใช้คำสั่ง SSVEP บ้างถึงเป็นปกติ (กลุ่มที่ 1) ซึ่งมีอัตราส่วนการใช้งานต่ำสุดอยู่ที่ 26.923% กับกลุ่มที่ใช้คำสั่ง SSVEP น้อยมากถึงน้อย (กลุ่มที่ 2) ซึ่งมีอัตราส่วนการใช้งานสูงสุดอยู่ที่ 18.75% โดยในกลุ่มที่ 1 จากศัตรูทั้งหมด 333 ตัวมีศัตรูที่ถูกทำลายด้วยคำสั่ง SSVEP มากถึง 167 ตัวหรือคิดเป็น 50.15% ผู้วิจัยจึงสามารถกล่าวได้ว่าโดยรวมแล้วกลุ่มนี้มีความมั่นใจในการใช้คำสั่ง SSVEP ไม่ต่างจากคำสั่งปกติ ส่วนกลุ่มที่ 2 จากศัตรูทั้งหมด 127 ตัวมีจำนวนศัตรูที่ถูกทำลายด้วยคำสั่ง SSVEP เพียง 16 ตัวหรือคิดเป็น 12.598% เท่านั้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ทั้งความไม่สะดวกของการใช้คำสั่ง SSVEP เมื่อเทียบกับคีย์บอร์ดกับเมาส์ ความไม่สบายตาที่เกิดขึ้นได้จากการจ้องตัวกระตุ่น หรือแม้กระทั่งการวางแผนของผู้ร่วมทดสอบเองที่ตั้งใจไว้แล้วว่าจะเน้นทำคะแนนพิเศษด้วยการใช้โรเฟิลจุ่มยิงที่ต้องบวกกับการใช้โรเฟิลชุ่มยิงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งผู้ร่วมทดสอบคนที่ 10 ก็แสดงให้เห็นแล้วว่าวิธีนี้ก็สามารทำให้คะแนนเกิน 80% ได้เช่นกัน แต่ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็ตาม โดยรวมแล้วกลุ่มที่ 1 ก็ยังถือว่ามีสัดส่วนมากถึง 70% ซึ่งถือว่าเป็นอัตราส่วนที่น่าพึงพอใจมากสำหรับผู้วิจัย

ในด้านคะแนนกับผลการเล่น ผู้วิจัยพบว่าตัวเกมมีความท้าทายพอสมควรเนื่องจากมีผู้ร่วมทดสอบเพียง 4 คนเท่านั้นที่สามารถเล่นผ่านได้ และในหมู่ผู้ที่เล่นผ่านมีเพียง 2 คนเท่านั้นที่สามารถทำคะแนนได้เกิน 80% จนได้รับเงินรางวัลพิเศษ จึงถือว่าความตั้งใจในการออกแบบเกมให้มีความท้าทายของผู้วิจัยนั้นบรรลุผล

ตารางที่ 7: ผลการทดสอบเมื่อเล่นจริง

	จำนวนศัตรูที่ถูกทำลาย				คะแนน (%)	ผลการเล่น	
	ด้วยโรเฟิลจุ่มยิง	ด้วยคำสั่ง SSVEP		รวม			
		ด้วยโรเฟิลชุ่มยิง	ด้วยเลเซอร์				
1	17	31	0	31	48	77.252	แพ้
2	16	11	0	11	27	68.077	แพ้
3	25	21	4	25	50	67.123	แพ้
4	15	24	0	24	39	79.141	แพ้
5	38	14	0	14	52	61.161	ชนะ
6	24	29	3	32	56	78.692	ชนะ
7	31	30	0	30	61	84.061	ชนะ



8	26	6	0	6	32	70.571	แพ้
9	30	5	0	5	35	73.81	แพ้
10	55	5	0	5	60	80.405	ชนะ
กลุ่มที่ 1							
1-7	166	160	7	167	333	-	-
กลุ่มที่ 2							
8-10	111	16	0	16	127	-	-

#### 4.4 ผลการตอบแบบสอบถาม

จากการตอบแบบสอบถามของผู้ร่วมทดสอบทั้ง 10 คนในตารางที่ 8 ผู้วิจัยพบว่าในภาพรวมแล้วผู้ร่วมทดสอบไม่ชอบการควบคุมด้วยระบบ BCI กับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองมากนัก เห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยของคำถามในหัวข้อ Tension ที่ทุกข้อมีคะแนนเฉลี่ยออกมาสูงกว่า 2 ทั้งหมด ซึ่งสำหรับหัวข้อนี้จะถือว่ามีความหมายในแง่ลบ แต่เมื่อผู้วิจัยลองแบ่งผู้ร่วมทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม คือคนที่ 1-7 (กลุ่มที่ 1) กับคนที่ 8-10 (กลุ่มที่ 2) แล้วแยกกันวิเคราะห์อย่างในตารางที่ 9 แล้ว ผู้วิจัย กลับพบว่าในความเป็นจริงแล้วผู้ร่วมทดสอบกลุ่มที่ 1 มีความรู้สึกในแง่บวกกับเครื่องตรวจจับ ตำแหน่งการมอง แต่เป็นผู้ร่วมทดสอบกลุ่มที่ 2 ที่มีความรู้สึกในแง่ลบมากกว่าจนทำให้ภาพรวม คะแนนออกมาในแง่ลบ ทว่าผลนี้กลับขัดกับผลการทดสอบในหัวข้อ 4.1 ที่ผู้ร่วมทดสอบทั้ง 2 กลุ่ม สามารถใช้คำสั่งด้วยเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองได้ดีทั้งคู่ ซึ่งประเด็นนี้ผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุมาจากการที่ผู้ร่วมทดสอบกลุ่มที่ 2 ได้รับผลกระทบจากความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อใบหน้ามากกว่า กลุ่มที่ 1 ส่วนการควบคุมด้วยระบบ BCI นั้นทั้ง 2 กลุ่มมีความรู้สึกในแง่ลบเหมือนกัน แม้ว่ากลุ่มที่ 1 จะไม่ได้รู้สึกรำคาญตัวกระตุ้นมากนักก็ตาม

การที่ผลออกมาเป็นเช่นนี้ทำให้ผู้วิจัยเห็นถึงปัญหาอย่างหนึ่งที่อาจส่งผลให้ผู้ร่วมทดสอบกลุ่ม ที่ 2 ใช้คำสั่ง SSVEP ในการเล่นจริงน้อยมากนอกเหนือจากสาเหตุที่วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อ 4.3 ปัญหา ดังกล่าวคือการที่ตัวเกมบังคับให้ผู้ร่วมทดสอบต้องยกโรเฟิลชูมยิงขึ้นมาเล็งด้วยการกะพริบตาข้าง เดียวก่อนจึงจะใช้คำสั่งยิงผ่าน SSVEP ได้ ซึ่งการทำแบบนี้จะทำให้ผู้ร่วมทดสอบที่ใช้คำสั่งด้วยการ กะพริบได้ไม่ดีไม่สามารถใช้คำสั่ง SSVEP ได้ไปด้วย ซึ่งในจุดนี้ผู้วิจัยคิดว่าน่าจะแก้ไขปัญหาได้ด้วยการ เพิ่มทางเลือกเป็นปุ่มบนคีย์บอร์ดกับเมาส์ให้กับผู้ร่วมทดสอบ แต่ในขณะเดียวกันก็มีรางวัลให้กับผู้ร่วม ทดสอบถ้าหากใช้คำสั่งด้วยการกะพริบตาได้สำเร็จ เช่น การยกปืนขึ้นมาเล็งด้วยการกะพริบตาจะทำ ให้ได้คะแนนจากการทำลายศัตรูมากขึ้นเป็นเวลานาน 4 วินาที เป็นต้น

ส่วนผลการตอบแบบสอบถามของหัวข้ออื่นที่ไม่ใช่ Tension นั้นคะแนนเฉลี่ยที่ออกมาถือว่า อยู่ในแง่บวกทั้งหมด โดยเฉพาะคำถามที่ว่าผู้ร่วมทดสอบสนุกกับตัวเกมหรือไม่ในหัวข้อ Positive Affect ที่คะแนนเฉลี่ยออกมาสูงถึง 3.1 และไม่มีผู้ร่วมทดสอบคนใดให้คะแนนในแง่ลบเลย ซึ่งทั้งหมด นี้แสดงให้เห็นว่าผู้ร่วมทดสอบทุกคนยังคงมีความรู้สึกในแง่บวกกับตัวเกมอยู่แม้ว่าจะมีความรู้สึกในแง่

ลบกับระบบควบคุมก็ตาม ผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะตัวเกมมีพีเจอร์ที่ช่วยใช้คำสั่ง SSVEP ให้โดยอัตโนมัติ ทำให้ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกว่าคุณยังสามารถใช้คำสั่งที่ต้องการได้อยู่แม้ว่าจะต้องเสียเวลาบ้างก็ตาม

ตารางที่ 8: ผลการตอบแบบสอบถาม

	ผู้ร่วมทดสอบ										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Competence (คะแนน 0-4, 0 = แย่ลบ, 4 = แ่บวก)											
คุณไม่ต้องจำคำสั่งเยอะ	4	2	4	3	2	4	3	3	2	3	3
คุณสามารถทำความเข้าใจวิธีการเล่นได้อย่างรวดเร็ว	4	4	3	3	2	4	4	3	1	3	3.1
คุณสามารถใช้คำสั่งตรงตามความต้องการได้อย่างง่ายดาย	2	3	2	2	2	2	3	4	1	3	2.4
คุณคิดว่าคุณสามารถทำเต็มที่ได้ดีสำหรับการเล่นครั้งแรก	2	3	3	2	1	4	4	2	2	4	2.7
เฉลี่ย	3	3	3	2.5	1.75	3.5	3.5	3	1.5	3.25	2.8
Sensory & Immersion (คะแนน 0-4, 0 = แย่ลบ, 4 = แ่บวก)											
คุณคิดว่าตัวกระตุ้นถูกจัดวางในเกมได้อย่างกลมกลืน	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3.5
คุณคิดว่าคำสั่งที่ใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองทำให้คุณเหมือนอยู่ในเกมมากขึ้น	2	3	2	3	3	3	3	2	1	3	2.5
เฉลี่ย	2.5	3	2.5	3.5	3.5	3	3.5	3	2	3.5	3
Flow (คะแนน 0-4, 0 = แย่ลบ, 4 = แ่บวก)											
คุณรู้สึกว่ามีความอิสระระหว่างเล่น	4	3	3	3	4	4	3	4	0	4	3.2
คุณรู้สึกว่าเล่นจนลืมเวลา	4	2	3	3	2	4	2	4	0	4	2.8
เฉลี่ย	4	2.5	3	3	3	4	2.5	4	0	4	3
Tension (คะแนน 0-4, 0 = แย่บวก, 4 = แย่ลบ)											
คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้กะพริบตาข้างเดียว	2	1	1	2	3	2	2	3	3	2	2.1
คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้จ้องตัวกระตุ้น	2	2	2	2	3	1	1	2	3	4	2.2
คุณรู้สึกว่าอาการกะพริบตาข้างเดียวเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ	4	1	2	1	2	1	2	3	3	2	2.1
คุณรู้สึกว่าอาการจ้องตัวกระตุ้นเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2.8
เฉลี่ย	2.75	1.75	1.75	1.75	2.75	1.75	2	2.75	3	2.75	2.3
Challenge (คะแนน 0-4, 0 = แย่ลบ, 4 = แ่บวก)											
คุณรู้สึกว่าการเล่นให้ได้คะแนนสูง ๆ เป็นเรื่องท้าทาย	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3.5

คุณรู้สึกว่าการเล่นเกมอีกครั้งเพื่อให้ได้คะแนนสูงขึ้น	3	2	3	3	3	3	3	4	2	3	2.9
เฉลี่ย	3.5	3	3	3	3.5	3.5	3	3.5	3	3	3.2
Negative Affect (คะแนน 0-4, 0 = แย่บวก, 4 = แย่ลบ)											
คุณคิดว่าเกมน่าเบื่อ	0	0	1	0	1	1	1	1	1	2	0.8
คุณคิดถึงเรื่องอื่นระหว่างเล่น	2	4	1	2	4	2	3	3	4	1	2.6
คุณต้องฟังสมาธิมากจนรู้สึกเหนื่อย	0	0	1	3	3	0	1	2	4	1	1.5
คุณต้องกะพริบตาบ่อยจนทำให้ไม่มีสมาธิในการเล่น	2	0	1	1	1	0	1	2	1	4	1.3
คุณรู้สึกเวียนศีรษะหลังจากเล่นจบ	0	1	0	3	2	1	0	0	1	1	0.9
เฉลี่ย	0.8	1	0.8	1.8	2.2	0.8	1.2	1.6	2.2	1.8	1.42
Positive Affect (คะแนน 0-4, 0 = แย่ลบ, 4 = แย่บวก)											
คุณรู้สึกสนุกกับการเล่น	4	3	3	3	3	4	3	3	2	3	3.1
คุณคิดว่าเกมช่วยฝึกสมาธิของคุณให้ดีขึ้น	3	3	3	2	3	4	2	3	1	3	2.7
เฉลี่ย	3.5	3	3	2.5	3	4	2.5	3	1.5	3	2.9

ตารางที่ 9: ผลการตอบแบบสอบถามในหัวข้อ Tension โดยแยกการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 กลุ่ม

	ผู้ร่วมทดสอบ											
	กลุ่มที่ 1							กลุ่มที่ 2				
	1	2	3	4	5	6	7	เฉลี่ย	8	9	10	เฉลี่ย
Tension (คะแนน 0-4, 0 = แย่บวก, 4 = แย่ลบ)												
คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้กะพริบตาข้างเดียว	2	1	1	2	3	2	2	1.86	3	3	2	2.66
คุณรู้สึกรำคาญคำสั่งที่ให้จ้องตัวกระตุ่น	2	2	2	2	3	1	1	1.86	2	3	4	3
คุณรู้สึกว่ากระพริบตาข้างเดียวเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ	4	1	2	1	2	1	2	1.86	3	3	2	2.66
คุณรู้สึกว่าจ้องตัวกระตุ่นเพื่อออกคำสั่งทำงานไม่ได้ตั้งใจ	3	3	2	2	3	3	3	2.71	3	3	3	3
เฉลี่ย	2.75	1.75	1.75	1.75	2.75	1.75	2	2.07	2.75	3	2.75	2.83

## บทที่ 5: สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบควบคุมแบบใหม่ของผู้วิจัยที่เป็นการทำงานประสานกันระหว่างระบบ BCI ที่ใช้ SSVEP เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง คีย์บอร์ด และเมาส์มีความสามารถมากพอที่จะใช้ควบคุมเกมแนว FPS ได้ในด้านจำนวนคำสั่งที่รองรับ ส่วนในด้านประสิทธิภาพ คำสั่งที่ต้องใช้เครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองถือว่าทำงานได้อยู่ในเกณฑ์ดี แม้ว่าผู้ร่วมทดสอบจำนวน 30% จะเจอปัญหาเรื่องความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบนใบหน้าจนทำให้ใช้คำสั่งได้ลำบากขึ้นก็ตาม ต่างกับคำสั่งที่ต้องใช้ SSVEP ที่ทำงานได้ไม่ได้อย่างที่คาด เนื่องจากวิธีการจำแนกสัญญาณด้วยอัลกอริทึม MDRM ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ไม่สามารถตอบโจทย์ด้านการควบคุมเกมได้ดังที่ผู้วิจัยคาดหวังเอาไว้

ปัญหาสำคัญคือวิธีการจำแนกสัญญาณดังกล่าวเดิมถูกออกแบบให้ใช้ขนาดช่วงสัญญาณกว้างถึง 4 วินาทีในการประมวลผลแต่ละครั้ง ซึ่งไม่เหมาะกับการนำมาพัฒนาระบบควบคุมที่ต้องตอบสนองแบบทันกาลและรวดเร็วอย่างระบบควบคุมเกม ผู้วิจัยจึงตัดสินใจแก้ไขปัญหานี้ด้วยการลดขนาดช่วงสัญญาณลงเป็น 2.5 วินาทีแทน แล้วผลที่ได้ก็คือคำสั่งที่ใช้ SSVEP แต่ละคำสั่งมีอัตราการใช้สำเร็จแตกต่างกันมาก โดยจากการทดสอบคำสั่งต่าง ๆ อย่างละ 10 ครั้ง คำสั่งที่มีอัตราการใช้สำเร็จสูงสุดคือคำสั่งยิงไรเฟิลชুমิงซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.1 ครั้ง ส่วนคำสั่งที่มีอัตราการใช้สำเร็จต่ำสุดคือคำสั่งเปิดเลเซอร์ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.9 ครั้งเท่านั้น อีกปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลด้วยเช่นกันคือขนาดกับตำแหน่งของตัวกระตุ้น การที่ตัวกระตุ้นของคำสั่งที่ทำงานได้ดีที่สุดเป็นตัวกระตุ้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและอยู่ใกล้ตรงกลางจอที่สุดด้วยนั้นย่อมไม่ใช่เรื่องบังเอิญ ดังนั้นถ้าหากมีการศึกษาต่อในอนาคต การศึกษาจะต้องมุ่งเน้นไปที่การหาผลกระทบของการลดขนาดช่วงสัญญาณที่มีต่อการจำแนก SSVEP ด้วยอัลกอริทึม MDRM ว่าผลกระทบนั้นมีมากน้อยเพียงใดเมื่อไม่ได้อยู่ในบริบทของเกม นอกจากนี้ยังต้องศึกษาเรื่องขนาดและการวางตำแหน่งของตัวกระตุ้นด้วยว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ BCI ที่ใช้ SSVEP มากน้อยเพียงใด

ถึงแม้ว่าระบบ BCI จะทำงานไม่ได้ตั้งใจผู้ร่วมทดสอบในด้านความคงที่ของประสิทธิภาพ แต่การใช้พีเจอร์ของตัวเกมเข้ามาช่วย ไม่ว่าจะเป็นการชะลอเวลาหรือการออกคำสั่งให้โดยอัตโนมัติ ก็ทำให้ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกว่าคุณยังสามารถควบคุมเกมได้ดีพอจนสามารถสนุกไปกับตัวเกมได้อยู่ และถึงแม้ว่าผู้ร่วมทดสอบจะมีทางเลือกในการเล่นโดยไม่ใช้คำสั่ง SSVEP แต่ถ้าหากตัวเกมมีพีเจอร์ที่ช่วยสร้างแรงจูงใจให้กับผู้ร่วมทดสอบได้ดีพอ ซึ่งในกรณีนี้ผู้วิจัยใช้เงินรางวัลเนื่องจากมีระยะเวลาในการพัฒนาเกมจำกัด ผู้ร่วมทดสอบก็ยินดีที่จะใช้คำสั่ง SSVEP ซึ่งข้อสรุปทั้ง 2 อย่างนี้สามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงประสบการณ์การเล่นเกมนั้นด้วยระบบ BCI ได้ในอนาคต

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากแต่ละคนมีความถนัดไม่เหมือนกัน บางคนกะพริบตาข้างเดียวได้ดีทั้ง 2 ข้าง บางคนกะพริบตาข้างเดียวได้ดีข้างเดียว หรือบางคนไม่สามารถกะพริบตาข้างเดียวได้ ดังนั้น นอกจากการอนุญาตให้ผู้ร่วมทดสอบสามารถปรับค่าตัวแปรเกี่ยวกับการตรวจจับการกะพริบตาข้างเดียวได้แล้ว ยังควรเพิ่มตัวเลือกอื่น ๆ เข้ามาด้วย ตัวอย่างเช่นสำหรับคนที่กะพริบตาข้างเดียวได้ดีทั้ง 2 ข้าง ควรมีตัวเลือกให้สามารถใช้การกะพริบตาข้างหนึ่งเพื่อยกป็นขึ้นมาเลี้ยง ส่วนอีกข้างหนึ่งเพื่อชะลอเวลาได้ หรือสำหรับคนที่ไม่สามารถกะพริบตาข้างเดียวได้ ควรมีตัวเลือกให้สามารถใช้การกดคีย์บอร์ดหรือเมาส์แทนได้ เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้ประสบการณ์การเล่นของผู้ร่วมทดสอบทุกคนดีขึ้น

- เนื่องจากตัวเกมต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ 2 อย่าง คือเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมองกับคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่รับและประมวลผลสัญญาณ การพัฒนาตัวเกมให้มีฟีเจอร์ที่บอกสถานะการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทั้ง 2 อย่างนี้ตลอดเวลาจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะถ้าหากอุปกรณ์ชิ้นใดชิ้นหนึ่งเกิดความผิดพลาด ผู้วิจัยจะได้ทำการแก้ไขทันและไม่ปล่อยให้ผลการทดสอบที่ผิดพลาดหลุดออกไป

- เนื่องจากการทดสอบตั้งแต่ต้นจนจบใช้เวลาเฉลี่ยนานถึง 1 ชั่วโมงครึ่ง และเป็นเวลาเล่นจริงเพียง 15-20 นาทีเท่านั้น ผู้ร่วมทดสอบบางคนจึงอาจเกิดความรู้สึกเบื่อหน่ายและเล่นจริงเพียงเพื่อให้การทดสอบจบ ๆ ไปเท่านั้น ดังนั้น ถ้าหากผู้ร่วมทดสอบสะดวกก็ควรแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ครั้ง โดยครั้งแรกให้เป็นการทดสอบคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับเครื่องตรวจจับตำแหน่งการมอง ส่วนครั้งที่สองเป็นการทดสอบคำสั่ง SSVEP กับการเล่นจริง การทำเช่นนี้นอกจากจะทำให้ผู้ร่วมทดสอบมีเวลาเล่นเกมอย่างอิสระมากขึ้นแล้ว ยังทำให้ผู้ร่วมทดสอบได้พักกล้ามเนื้อบนใบหน้าซึ่งอาจทำให้ประสบการณ์การเล่นดีขึ้นได้

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

- [1] B. Kerous, F. Skola, and F. Liarokapis, "EEG-based BCI and video games: a progress report," *Virtual Real.*, vol. 22, no. 2, pp. 119-135, 2018, doi: 10.1007/s10055-017-0328-x.
- [2] K. Blinowska and P. Durka, "Electroencephalography (EEG)," in *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, 2006.
- [3] M. Teplan, "Fundamentals of EEG measurement," *Measurement science review*, vol. 2, no. 2, pp. 1-11, 2002.
- [4] B. Allison, T. Luth, D. Valbuena, A. Teymourian, I. Volosyak, and A. Graser, "BCI Demographics: How Many (and What Kinds of) People Can Use an SSVEP BCI?," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 107-116, 2010, doi: 10.1109/TNSRE.2009.2039495.
- [5] NeuroSky. MindWave Mobile. Available: <https://store.neurosky.com/pages/mindwave>
- [6] C. Gough, "Genre breakdown of video game sales in the United States in 2018," May-2019. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/189592/breakdown-of-us-video-game-sales-2009-by-genre/>. [Accessed: 06-Jul-2019].
- [7] S. Tengtrakul, S. Pan-ngum. "Hybrid Control and Game Design for BCI-integrated Action FPS Game," 2020 IARIA 13th International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI), Valencia, Spain, Nov. 2020, pp. 408-414, ISSN: 2308-4138, ISBN: 978-1-61208-761-0.
- [8] N. Kumar, K. Alam, and A. H. Siddiqi, "Wavelet transform for classification of eeg signal using svm and ann," *Biomedical and Pharmacology Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 2061-2069, 2017.
- [9] S. Zhang, B. McCane, P. S. -H. Neo, S. M. Shadli and N. McNaughton, "Trait depressivity prediction with EEG signals via LSBoost," 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Glasgow, UK, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/IJCNN48605.2020.9207020.
- [10] C. Ming, G. Xiaorong, G. Shang kai, and X. Dingfeng, "Design and implementation of a brain-computer interface with high transfer rates," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 10, pp. 1181-1186, 2002, doi: 10.1109/TBME.2002.803536.
- [11] R. Singla and B. Haseena, "Comparison of ssv ep signal classification techniques using svm and ann models for bci applications," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, p. 6, 2014.

- [12] D. Zhu, J. Bieger, G. G. Molina, and R. M. Aarts, "A survey of stimulation methods used in SSVEP-based BCIs," *Computational intelligence and neuroscience*, vol. 2010, p. 1, 2010.
- [13] M. A. Pastor, J. Artieda, J. Arbizu, M. Valencia, and J. C. Masdeu, "Human Cerebral Activation during Steady-State Visual-Evoked Responses," *The Journal of Neuroscience*, vol. 23, no. 37, pp. 11621-11627, 2003, doi: 10.1523/jneurosci.23-37-11621.2003.
- [14] O. Friman, I. Volosyak, and A. Graser, "Multiple Channel Detection of Steady-State Visual Evoked Potentials for Brain-Computer Interfaces," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 4, pp. 742-750, 2007, doi: 10.1109/TBME.2006.889160.
- [15] F.-B. Vialatte, M. Maurice, J. Dauwels, and A. Cichocki, "Steady-state visually evoked potentials: focus on essential paradigms and future perspectives," *Progress in neurobiology*, vol. 90, no. 4, pp. 418-438, 2010.
- [16] E. K. Kalunga, S. Chevallier, Q. Barthélemy, K. Djouani, E. Monacelli, and Y. Hamam, "Online SSVEP-based BCI using Riemannian geometry," *Neurocomputing*, vol. 191, pp. 55-68, 2016.
- [17] R. S. Fisher, G. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, and A. Wilkins, "Photic-and pattern-induced seizures: a review for the Epilepsy Foundation of America Working Group," *Epilepsia*, vol. 46, no. 9, pp. 1426-1441, 2005.
- [18] Z. Lin, C. Zhang, W. Wu, and X. Gao, "Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-based BCIs," *IEEE transactions on biomedical engineering*, vol. 53, no. 12, pp. 2610-2614, 2006.
- [19] C. M. Wong, Q. Tang, J. N. da Cruz, and F. Wan, "A multi-channel SSVEP-based BCI for computer games with analogue control," in *2015 IEEE international conference on computational intelligence and virtual environments for measurement systems and applications (CIVEMSA)*, 2015: IEEE, pp. 1-6.
- [20] F. Lotte et al., "A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces: a 10 year update," *Journal of neural engineering*, vol. 15, no. 3, p. 031005, 2018.
- [21] M. Ahn and S. C. Jun, "Performance variation in motor imagery brain-computer interface: a brief review," (in eng), *J Neurosci Methods*, vol. 243, pp. 103-110, Mar 30 2015, doi: 10.1016/j.jneumeth.2015.01.033.



- [22] J. J. Vidal, "Real-time detection of brain events in EEG," *Proceedings of the IEEE*, vol. 65, no. 5, pp. 633-641, 1977, doi: 10.1109/PROC.1977.10542.
- [23] P. Martinez, H. Bakardjian, and A. Cichocki, "Fully online multicommand brain-computer interface with visual neurofeedback using SSVEP paradigm," (in eng), *Computational intelligence and neuroscience*, vol. 2007, pp. 94561-94561, 2007, doi: 10.1155/2007/94561.
- [24] M. M. Jackson et al., "Continuous control paradigms for direct brain interfaces," in *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2009: Springer, pp. 588-595.
- [25] G. Hakvoort, H. Gürkök, D. Plass-Oude Bos, M. Obbink, and M. Poel, "Measuring Immersion and Affect in a Brain-Computer Interface Game," Berlin, Heidelberg, 2011: Springer Berlin Heidelberg, in *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011*, pp. 115-128.
- [26] M. v. Vliet, A. Robben, N. Chumerin, N. V. Manyakov, A. Combaz, and M. M. V. Hulle, "Designing a brain-computer interface controlled video-game using consumer grade EEG hardware," in *2012 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC)*, 9-11 Jan. 2012 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/BRC.2012.6222186.
- [27] C. Kapeller, C. Hintermüller, and C. Guger, "Augmented control of an avatar using an SSVEP based BCI," in *Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*, 2012: ACM, p. 27.
- [28] N. Kos'myna and F. Tarpin-Bernard, "Evaluation and Comparison of a Multimodal Combination of BCI Paradigms and Eye Tracking With Affordable Consumer-Grade Hardware in a Gaming Context," *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 5, no. 2, pp. 150-154, 2013, doi: 10.1109/TCIAIG.2012.2230003.
- [29] J. Legény, R. Viciano-Abad, and A. Lécuyer, "Toward Contextual SSVEP-Based BCI Controller: Smart Activation of Stimuli and Control Weighting," *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 5, no. 2, pp. 111-116, 2013, doi: 10.1109/TCIAIG.2013.2252348.
- [30] R. Parafita, G. Pires, U. Nunes, and M. Castelo-Branco, "A spacecraft game controlled with a brain-computer interface using SSVEP with phase tagging," in *2013 IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2-3 May 2013 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/SeGAH.2013.6665309.

- [31] N. Chumerin, N. V. Manyakov, M. v. Vliet, A. Robben, A. Combaz, and M. M. V. Hulle, "Steady-State Visual Evoked Potential-Based Computer Gaming on a Consumer-Grade EEG Device," *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 5, no. 2, pp. 100-110, 2013, doi: 10.1109/TCIAIG.2012.2225623.
- [32] L. Po-Lei, S. Hao-Teng, and C. Hsiang-Chih, "Design a brain computer interface gaming system using steady-state visual evoked potential," in *2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan, 26-28 May 2014* 2014, pp. 5-6, doi: 10.1109/ICCE-TW.2014.6904095.
- [33] A. Ali and S. Puthusserypady, "A 3D learning playground for potential attention training in ADHD: A brain computer interface approach," (in eng), *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2015, pp. 67-70, 2015, doi: 10.1109/embc.2015.7318302.
- [34] B. Koo, H. Lee, Y. Nam, and S. Choi, "Immersive BCI with SSVEP in VR head-mounted display," in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 25-29 Aug. 2015* 2015, pp. 1103-1106, doi: 10.1109/EMBC.2015.7318558.
- [35] Marti et al., "A Prototype SSVEP Based Real Time BCI Gaming System," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, p. 15, 2016, Art no. 3861425, doi: 10.1155/2016/3861425.
- [36] H. Miguel de Arruda Leite, S. Negreiros de Carvalho, T. Costa, R. Attux, H. Horst Hornung, and D. Arantes, *Controlling a game using a BCI-SSVEP with four commands*. 2017.
- [37] I. Cruz, C. Moreira, M. Poel, H. Ferreira, and A. Nijholt, "Kessel Run - A Cooperative Multiplayer SSVEP BCI Game," Cham, 2018: Springer International Publishing, in *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment*, pp. 77-95.
- [38] J. J. Wilson and R. Palaniappan, "Analogue mouse pointer control via an online steady state visual evoked potential (SSVEP) brain-computer interface," (in eng), *J Neural Eng*, vol. 8, no. 2, p. 025026, Apr 2011, doi: 10.1088/1741-2560/8/2/025026.
- [39] A. Barachant, S. Bonnet, M. Congedo, and C. Jutten, "Multiclass Brain-Computer Interface Classification by Riemannian Geometry," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 59, no. 4, pp. 920-928, 2012, doi: 10.1109/TBME.2011.2172210.
- [40] M. Nakanishi, Y. Wang, Y. T. Wang, Y. Mitsukura, and T. P. Jung, "A high-speed brain speller using steady-state visual evoked potentials," (in eng), *Int J Neural Syst*, vol. 24, no. 6, p. 1450019, Sep 2014, doi: 10.1142/s0129065714500191.

- [41] P. Stawicki, F. Gemblar, A. Rezeika, and I. Volosyak, "A Novel Hybrid Mental Spelling Application Based on Eye Tracking and SSVEP-Based BCI," (in eng), *Brain Sci*, vol. 7, no. 4, Apr 5 2017, doi: 10.3390/brainsci7040035.
- [42] C. Mühl et al., "Bacteria Hunt: A multimodal, multiparadigm BCI game," in *Fifth International Summer Workshop on Multimodal Interfaces*, 2009, pp. 41-62.
- [43] G. Pires, M. Torres, N. Casaleiro, U. Nunes, and M. Castelo-Branco, "Playing Tetris with non-invasive BCI," in *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 16-18 Nov. 2011 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/SeGAH.2011.6165454.
- [44] G.Tec Medical Engineering. G.SAHARASYS. Product. available: <https://www.gtec.at>. last accessed: Oct. 2020.
- [45] G.Tec Medical Engineering. G.MOBILAB+. Product. available: <https://www.gtec.at>. last accessed: Oct. 2020.
- [46] Math Works. Matlab R2018b. Software. available: <https://www.mathworks.com>. last accessed: Oct. 2020.
- [47] Unity Technologies. Unity 5. Software. available: <https://unity3d.com>. last accessed: Oct. 2020.
- [48] Id Software. Doom (1993). Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [49] Ubisoft Montreal, Red Storm, Ubisoft Shanghai, Ubisoft Toronto, and Ubisoft Kiev. Ubisoft. Far Cry 5. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [50] Gearbox Software and Blind Squirrel Games. 2K. Borderlands. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [51] Crytek. Electronic Arts. Crysis 3. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [52] Treyarch. Activision. Call of Duty: World at War. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [53] Valve and Hidden Path Entertainment. Valve. Counter-Strike: Global Offensive. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [54] Dice. Electronic Arts. Battlefield 3. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.

- [55] Bungie. Destiny 2. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [56] Id Software. Bethesda Softworks. Doom Eternal. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [57] Bungie. Microsoft Game Studios. Halo 3. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [58] Infinity Ward. Activision. Call of Duty 4: Modern Warfare. Video game. available: <https://store.steampowered.com>. last accessed: Dec. 2020.
- [59] Tobii Tech. Tobii Eye Tracker 4C. Product. no longer available. detail: <https://gaming.tobii.com>. last accessed: Oct. 2020.
- [60] Tobii Tech. Stream Engine SDK. Software development kit. available: <https://vr.tobii.com/sdk/develop/native/stream-engine>. last accessed: Oct. 2020.
- [61] Tobii Tech. Tobii Unity SDK for Desktop. Software development kit. available: <https://developer.tobii.com/tobii-unity-sdk>. last accessed: Oct. 2020.
- [62] Schalk Lab. BCI2000. Software. available: <http://bci2000.org>. last accessed: Oct. 2020.
- [63] K. Poels, Y. A. W. de Kort, and W. A. Ijsselsteijn, D3.3 : Game Experience Questionnaire (development of a self-report measure to assess the psychological impact of digital games). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2007.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศุภชัย เต็งตระกูล
วัน เดือน ปี เกิด	28 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษา จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	628/2, แขวงตลาดพลู, ถนนตลาดพลู, ซอยเทอดไท 22, เขตธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 10600



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY