

การพัฒนาระบบชุดจำลองการขับรถไฟ

Development of Train Driving Simulator



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Development of Train Driving Simulator



Poramet Fang

Yodvarich Tungkosol

Woradorn Laodhanadhaworn

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2020

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาระบบชุดจำลองการขับรถไฟ
Development of Train Driving Simulator

รายชื่อนักศึกษา นายปรเมษฐ์ ฟาง รหัสนักศึกษา 60010579
นายศวริศ ตั้งโกศล รหัสนักศึกษา 60010841
นายวรตร เหล่าธนถาวร รหัสนักศึกษา 60010890

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ. 2563
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง



(ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | | |
|-------------------------------|--|-----------------------|
| หัวข้อปริญญาานิพนธ์ | การพัฒนาระบบชุดจำลองการขับรถไฟ | |
| | Development of Train Driving Simulator | |
| รายชื่อนักศึกษา | นายปรเมษฐ์ ฟาง | รหัสนักศึกษา 60010579 |
| | นายยศวริศ ตั้งโกศล | รหัสนักศึกษา 60010841 |
| | นายวรรตร เหล่าธนาถาวร | รหัสนักศึกษา 60010890 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสารสนเทศ | |
| พ.ศ. | 2563 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ | ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ | |

บทคัดย่อ

ชุดสำหรับฝึกหัดขับรถไฟบนสถานการณ์เสมือนจริง ที่อ้างอิงจากหลักสูตรการฝึกหัดขับรถไฟจำลอง ของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) เพื่อให้พนักงานขับได้ทราบถึงข้อปฏิบัติและการป้องกันเหตุอันตรายก่อนการเดินรถจริงจึงจำเป็นต้องมีระบบเสมือนจริงนี้ในการฝึกหัด โดยชุดสำหรับฝึกหัดนี้ได้นำเทคโนโลยีปัจจุบันมาใช้พัฒนาเพื่อทดแทนระบบแบบเก่าของทาง รฟท. ก่อให้เกิดความง่ายในการติดตั้งและการใช้งาน ชุดโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกคือ โปรแกรมจำลองการขับรถไฟ พัฒนาขึ้นด้วย Unreal Engine 4 (UE4) ที่จำลองสถานการณ์ได้สมจริง ส่วนที่สองคือ คอนโซลจำลองสำหรับใช้ควบคุมตัวรถไฟ ที่มีปุ่มควบคุม คันโยก และหน้าจอแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆด้วย โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ และส่วนสุดท้ายโปรแกรมควบคุมระบบจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ฝึกสอน ให้ผู้ฝึกสอนใช้ควบคุมโปรแกรมจำลองการขับรถไฟในส่วนที่หนึ่งจากภายนอกได้อย่างอิสระ โดยโปรแกรมจำลองการขับรถไฟ โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ และ โปรแกรมควบคุมระบบจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ฝึกสอน จะสื่อสารกันผ่านเซิร์ฟเวอร์ตัวกลางในแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

| | | |
|-----------------------|--|---------------------|
| Thesis Title | Development of Train Driving Simulator | |
| Student | Poramet Fang | Student ID 60010579 |
| | Yodvarich Tungkosol | Student ID 60010841 |
| | Woradorn Laodhanadhaworn | Student ID 60010890 |
| Degree | Bachelor of Engineering | |
| Program | Information Engineering | |
| Year | 2020 | |
| Thesis Advisor | Asst.Prof.Dr. Vanvisa Chutchavong | |

ABSTRACT

This project paper is to present about the train driving simulator that we developed using Unreal Engine 4 to use it as a modern version of train driving simulator that compress all hardware that use in the current version into a single software. We developed more user-friendly and game-like user interface (UI) with menu and stage selection. The driver will control the simulating train using our train console replica which can adjust speed and direction of the train with a screen that display the train's speed. The software will also give more variation to the training scenario and can be controlled easily by our instructor program that can control the signaling on the rail section and trigger some accident scenario too. Every component will be connected by the server using Node.js.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

||

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ และรุ่นพี่ที่ทีมงานห้องปฏิบัติการสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับระบบขนส่งทางราง (RailLINKs Lab) ได้แก่ พี่ธนวิชญ์ อนุวงศ์พินิจ, พี่สมสิน ทองไกรรัตน์, พี่ธนภูมิ ภูมิ และ พี่สรณ์ภูธร สัมฤทธิ์กุล ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เสนอคำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด และยังได้แบ่งปันพื้นที่ของห้องปฏิบัติการ รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นต่างๆ ให้ใช้ดำเนินงาน ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย คณะผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านภาษา ด้านเนื้อหา ให้คำแนะนำ และตรวจสอบ จนปริญญานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ปกครอง ที่สนับสนุน และให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จ ด้วยดีคุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ ขอน้อมบูชาพระคุณบิดามารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายปรเมษฐ์ ฟาง
นายยศวิศ ตั้งโกศล
นายวรธร เหล่าชนถาวร
คณะผู้ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|-----|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูป..... | VII |
| สารบัญตาราง..... | X |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 แผนการทำงาน..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี..... | 3 |
| 2.1 ระบบจำลองการขับรถไฟ | 3 |
| 2.1.1 พลศาสตร์ของรถไฟ และการขับเคลื่อนรถไฟ | 3 |
| 2.1.2 Grade-Speed Diagram | 7 |
| 2.2 Cab Signaling..... | 12 |
| 2.3 Unreal Engine..... | 14 |
| 2.3.1 Blueprint | 15 |
| 2.3.2 Virtual Script | 15 |
| 2.3.3 Mesh และ Material..... | 16 |
| 2.3.4 Input..... | 17 |
| 2.3.5 User Interface (UI)..... | 18 |
| 2.4 Node.js | 18 |
| 2.5 Socket.IO..... | 19 |
| 2.6 Socket.IO Client Plugin for Unreal Engine 4 | 19 |
| 2.7 Electron..... | 19 |
| 2.8 Vue.js..... | 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.8.1 Vue CLI Plugin Electron Builder | 20 |
| บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำโครงการ | 21 |
| 3.1 การออกแบบ Hardware | 21 |
| 3.1.1 Display Unit | 21 |
| 3.1.2 Light Status Unit | 22 |
| 3.1.3 Control Unit | 22 |
| 3.2 การออกแบบ Input/Output | 23 |
| 3.2.1 Microcontroller | 23 |
| 3.2.2 Data interpreter & display | 23 |
| 3.3 การออกแบบ Software | 24 |
| 3.3.1 Main Simulator | 24 |
| 3.3.2 Level/Event Selection | 25 |
| 3.3.3 Input Response | 26 |
| 3.3.4 Software Architecture | 27 |
| 3.3.5 Communication Protocol | 28 |
| 3.3.6 Server | 28 |
| 3.3.7 Speed Gauge | 29 |
| 3.3.8 Instructor Program | 29 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 30 |
| 4.1 ชุดจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ขับขี่ | 30 |
| 4.1.1 โปรแกรมจำลองการขับรถไฟ | 30 |
| 4.1.2 คอนโซลจำลองสำหรับใช้ควบคุมตัวรถไฟ | 36 |
| 4.2 โปรแกรมควบคุมระบบจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ฝึกสอน | 40 |
| 4.3 เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลาง | 41 |
| 4.4 โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ | 41 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ได้

5.1 สรุปภาพรวมของปริญญานิพนธ์ 42 |

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

v

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---------------------------|------|
| 5.3 แนวทางในการพัฒนา..... | 42 |
| บรรณานุกรม | 43 |
| ภาคผนวก ก..... | 45 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 กราฟแรงขับเคลื่อน (Tractive effort curve)..... | 4 |
| 2.2 Grade-speed diagram | 7 |
| 2.3 การเคลื่อนขบวนรถไฟระหว่างสถานี | 8 |
| 2.4 การคำนวณช่วงการเร่งความเร็วระหว่าง 2 จุด..... | 10 |
| 2.5 ระยะเวลาเพิ่มเติมที่ใช้ในการเบรก และการเร่งในกรณีหยุดจอด ณ สถานี..... | 11 |
| 2.6 ตัวอย่างการขับรถไฟ..... | 12 |
| 2.7 หน้าจอแสดงผลบนรถไฟ | 13 |
| 2.8 หน้าจอแสดงผลที่ห้องพนักงานเดินรถแสดงสถานะต่างรวมถึงค่าความเร็วสูงสุดที่อนุญาต | 13 |
| 2.9 หน้าต่างตอนเลือกสร้างโปรเจกใหม่โดยสามารถเลือกที่จะพัฒนาด้วย Blueprint หรือ C++ | 14 |
| 2.10 หน้า Unreal Engine ขณะพัฒนาเกม..... | 14 |
| 2.11 หน้าสร้าง Blueprint ใหม่ โดย Inherit จาก Class อื่น | 15 |
| 2.12 หน้าตาของ Blueprint Virtual Script ใน Unreal Engine | 16 |
| 2.13 รูปร่างของ Mesh ใน Unreal Engine | 16 |
| 2.14 รูปร่างของ Material ใน Unreal Engine | 17 |
| 2.15 หน้าต่างสำหรับปรับแต่งการรับ Input จากผู้ใช้งาน | 17 |
| 2.16 หน้าต่างสำหรับใช้ปรับแต่ง User Interface ใน Unreal Engine | 18 |
| 2.17 หน้าเว็บหลักของ Node.js | 19 |
| 2.18 การใช้งาน Vue.js ร่วมกับ Electron..... | 20 |
| 3.1 Display Unit บนโมเดลจำลอง | 21 |
| 3.2 Light Status Unit บนโมเดลจำลอง | 22 |
| 3.3 ปุ่ม และคันโยกในระบบ Control Unit..... | 22 |
| 3.4 Microcontroller STM32F407 | 23 |
| 3.5 การตั้งค่าเชื่อมต่อไฟสัญญาณของบล็อกหน้า และหลังไฟสัญญาณนี้..... | 24 |
| 3.6 การตั้งค่า Object รางที่สามารถเลือกสับประแจไปได้ | 25 |
| 3.7 หน้าการใช้งาน Level Selector | 25 |
| 3.8 การใช้คันโยกควบคุมการเดินรถไฟใน Simulator..... | 26 |
| 3.9 ส่วนการคำนวณค่า Input จากคันโยก..... | 26 |
| 3.10 Software Architecture | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.1 ตัวรถไฟจำลอง | 30 |
| 4.2 มุมมองผู้ขับรถไฟจำลอง | 30 |
| 4.3 ร่างรถไฟ..... | 31 |
| 4.4 ไฟสัญญาณ..... | 31 |
| 4.5 สถานีรถไฟ | 31 |
| 4.6 สิ่งกีดขวางทางรถไฟ | 32 |
| 4.7 หน้าเมนูหลักของโปรแกรม..... | 32 |
| 4.8 หน้าเมนูเลือกด้านจำลอง..... | 33 |
| 4.9 มุมมองของผู้ขับขึ้นหัวรถไฟ | 33 |
| 4.10 รถไฟขับเคลื่อนไปตามการควบคุมความเร็วจากผู้ใช้ | 33 |
| 4.11 การใช้ไฟสัญญาณในการแบ่งบล็อก | 34 |
| 4.12 สถานะของไฟสัญญาณเมื่อรถไฟยังไม่เข้าสู่บล็อก | 34 |
| 4.13 สถานะของไฟสัญญาณเมื่อรถไฟเข้าสู่บล็อก | 35 |
| 4.14 รถไฟขณะที่ประแจล็อกไว้ที่รางฝั่งซ้าย | 35 |
| 4.15 รถไฟขณะที่ประแจล็อกไว้ที่รางฝั่งขวา..... | 36 |
| 4.16 สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ขวางแนวการวิ่งของรถไฟ..... | 36 |
| 4.17 องค์ประกอบต่างๆของคอนโซลจำลอง | 37 |
| 4.18 การปรับความเร็วของรถไฟโดยคันโยก..... | 37 |
| 4.19 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะที่ยังไม่ทำงาน | 38 |
| 4.20 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะพร้อมทำงาน | 38 |
| 4.21 การกดปุ่มหยุดฉุกเฉินเพื่อตัดความเร็วของรถไฟทันที | 39 |
| 4.22 การกดปุ่มเปลี่ยนเป็นเกียร์ถอยหลัง | 39 |
| 4.23 การทำงานของหน้าปัด และคันโยกเช่นเดิมในขณะที่รถไฟถอยหลังอยู่..... | 40 |
| 4.24 โปรแกรมควบคุมสำหรับผู้ฝึกสอน | 40 |
| 4.25 เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลาง..... | 41 |
| 4.26 โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ | 41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|-------|
| ก.3 หน้ากรอกข้อมูลสมัครบัญชี Epic Games..... | 48 |
| ก.4 Email เพื่อส่งรหัสยืนยัน Email จาก help@acct.epicgames.com..... | 49 |
| ก.5 หน้าหลัก Unreal Engine..... | 50 |
| ก.6 หน้าเลือกดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรม แยกตาม License..... | 50 |
| ก.7 ตัวโปรแกรมติดตั้งที่ดาวน์โหลดเรียบร้อยแล้ว..... | 51 |
| ก.8 หน้าเริ่มต้นโปรแกรมติดตั้ง..... | 51 |
| ก.9 หน้ากำลังติดตั้งโปรแกรม..... | 52 |
| ก.10 หน้าเลือกตัวเลือก Login เข้า Epic Games Launcher..... | 52 |
| ก.11 หน้า Login บัญชี Epic Games โดยใช้ Email..... | 53 |
| ก.12 หน้าหลัก Unreal Engine ใน Epic Game Launcher..... | 53 |
| ก.13 หน้ายอมรับ End User License Agreement ของ Unreal Engine..... | 54 |
| ก.14 หน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรม Unreal Engine 4 เวอร์ชันล่าสุด..... | 54 |
| ก.15 หน้าเลือกเวอร์ชัน Unreal Engine ที่ต้องการติดตั้ง..... | 55 |
| ก.16 หน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรม Unreal Engine 4 เวอร์ชัน 4.19..... | 56 |
| ก.17 การแสดงผลความคืบหน้าการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมบนการ์ดเวอร์ชัน Unreal Engine..... | 56 |
| ก.18 การแสดงผลความคืบหน้าการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมในแท็บ Download..... | 57 |
| ก.19 หน้าหลักเพื่อทำการเปิดโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4..... | 58 |
| | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญตาราง

| | |
|--------------------------|------|
| ตารางที่ | หน้า |
| 1.1 ขั้นตอนการทำงาน..... | 2 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

X

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยชุดขั้วรถไฟจำลองของศูนย์ฝึกอบรม การรถไฟแห่งประเทศไทยได้มีการติดตั้ง และใช้งานมาเป็นเวลายาวนาน นับตั้งแต่ได้รับมอบจากองค์กร JICA ประเทศญี่ปุ่น เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2500 และได้มีการใช้งานมาจวบจนปัจจุบัน ทำให้เกิดการชำรุด เสื่อมสภาพ หรือสึกกร่อนของอุปกรณ์ หรือกลไก ต่าง ๆ ภายในตัวหัวขั้วรถไฟจำลอง จึงได้ดำเนินการปรับปรุง หรือตัดแปลงในตัวรถ ทั้งในส่วนกลไก การขับเคลื่อน และส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือไฟฟ้า รวมถึงระบบคอมพิวเตอร์ ทั้งในส่วนซอฟต์แวร์การขั้วรถไฟจำลอง และซอฟต์แวร์สำหรับผู้ฝึกสอน เพื่อให้ชุดฝึกขั้วรถไฟจำลองนี้สามารถกลับมาใช้งานได้ เพื่อประโยชน์ในการฝึกขั้วรถไฟให้กับพนักงานขั้วรถจักร ให้มีความคุ้นเคย คำนึงกับการขั้วรถไฟจำลอง เพื่อเป็นการเตรียมพร้อม เรียนรู้ในการขั้วรถไฟ และการจัดการสถานการณ์ต่าง ๆ ก่อนที่จะไปปฏิบัติงานจริงในการขั้วรถไฟจริง

ตัวโครงงานนี้แต่เดิมนั้นมีตัวต้นแบบของรุ่นพี่ที่เคยทำมาก่อนเอาไว้ ซึ่งในตัวต้นแบบนั้นก็จะมีระบบจำลองการขั้วรถไฟ และมีฮาร์ดแวร์เป็นตัวคอนโซล (Console) ควบคุมรถไฟจำลองที่สามารถอินพุตคำสั่งต่างๆของรถไฟเช่น เพิ่ม-ลดความเร็ว หยุด เป็นต้น ซึ่งที่กลุ่มของเราต้องการจะนำมาพัฒนาต่อ นั้นพวกเราต้องการที่จะปรับปรุงระบบเพิ่มเติมเพื่อให้มีความสมจริงมากขึ้นรวมถึงเพิ่ม UI ต่างๆเพื่อให้มีความ User Friendly มากขึ้น และปรับปรุงตัวคอนโซล (Console) ให้มีการแสดงผลตอบกลับผู้ใช้แทนที่จะเป็นแค่ตัวอินพุตคำสั่งเหมือนตัวต้นแบบ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมกับโมเดล 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Unreal Engine 4
2. เพิ่มรายละเอียดความสมจริงในการจำลองการขั้วรถไฟ
3. เพิ่ม UI ต่างๆเพื่อความ User Friendly
4. ปรับปรุงตัวคอนโซล (Console) ให้สามารถแสดงผลตอบกลับผู้ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ใช้โปรแกรม Unreal Engine 4 เพื่อสร้างซอฟต์แวร์จำลองการขับรถไฟโดยใช้ชุดคำสั่งที่เขียนโดย Blueprints ของ Unreal Engine 4 โดยมีชิ้นงานของรุ่นพี่เป็นต้นแบบ นำมาสร้างใหม่เพิ่มเติมในส่วนของ UI และสถานการณ์จำลองที่มากกว่าเดิม รวมถึงพัฒนาฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นคอนโซล (Console) รถไฟจำลอง ให้สามารถส่งข้อมูลได้ต่อบทบาทผู้ใช้ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีระบบจำลองการขับรถไฟที่ใช้งานได้จริงมีการจำลองสถานการณ์ต่างๆที่เจอในการขับรถไฟ
2. ระบบ UI หน้าเมนูสำหรับเลือกสถานการณ์จำลอง รวมถึงให้คำแนะนำการขับขี่
3. ตัวคอนโซล (Console) ควบคุมรถไฟที่สามารถแสดงความเร็ว และสถานะต่างๆของรถไฟใกล้เคียงกับความจริง

1.5 แผนการทำงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงาน

| กระบวนการทำงาน | ส.ค | ก.ย | ต.ค | พ.ย | ธ.ค | ม.ค | ก.พ | มี.ค |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | |
| ออกแบบ และพัฒนาซอฟต์แวร์ | | | | | | | | |
| ออกแบบ และพัฒนาฮาร์ดแวร์ | | | | | | | | |
| ทดสอบการทำงานของโครงการ | | | | | | | | |
| ตกแต่ง | | | | | | | | |
| จัดทำเอกสาร และการนำเสนอ | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ระบบจำลองการขับเคลื่อนรถไฟ

2.1.1 พลศาสตร์ของรถไฟ และการขับเคลื่อนรถไฟ

ในการขับเคลื่อนรถไฟนั้น แรงฉุดลากสูงสุดที่หัวรถจักรสามารถใช้ได้ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ

1. แรงสูงสุดที่สามารถถ่ายทอดได้ด้วยแรงยึดเหนี่ยว (Adhesion) ระหว่างล้อกับราง
2. แรงสูงสุดที่สร้างขึ้นจากเครื่องยนต์ หรือมอเตอร์ขับเคลื่อน

แรงที่ถ่ายทอดระหว่างล้อกับรางสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่กดลงล้อที่ขับเคลื่อนคูณด้วยสัมประสิทธิ์แรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง ค่าสัมประสิทธิ์นี้อยู่ระหว่าง 0.1-0.4 ขึ้นอยู่กับสภาพของรางเป็นส่วนหลัก และขึ้นกับความเร็วเป็นส่วนเล็กน้อย ส่วนแรงจริงที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องต้นกำลังจะเท่ากับกำลังม้าของเครื่องหารด้วยความเร็ว โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$F_{adhes} = mg\mu_{adhes} \quad (2.1)$$

$$F_{Power} = \frac{P}{v} \quad (2.2)$$

F_{adhes} tractive effort limited by adhesion

F_{Power} tractive effort limited by horsepower

μ_{adhes} coefficient of adhesion

g acceleration of gravity

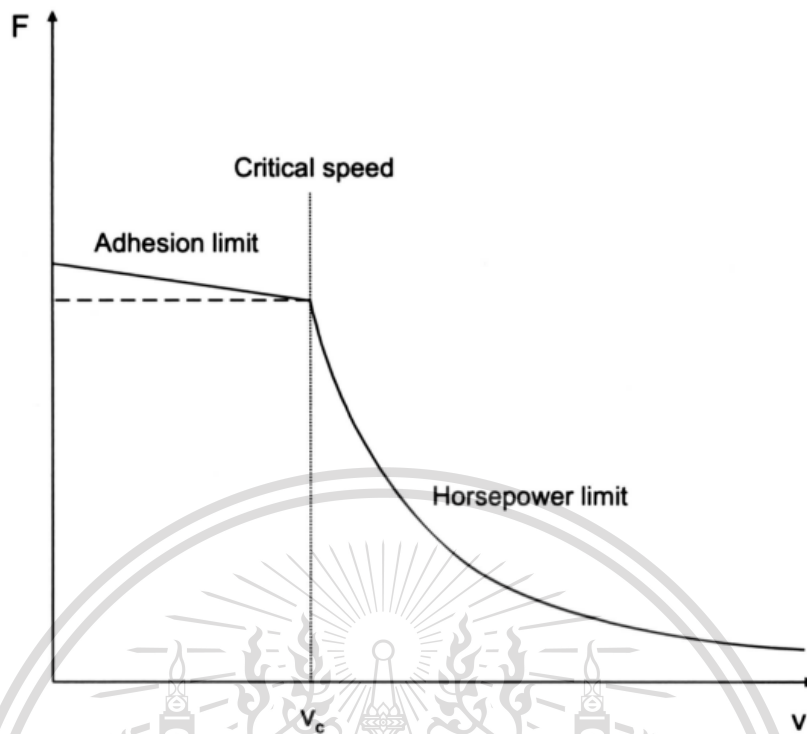
P horsepower

v speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
เมื่อแรงทั้งสองส่วนนี้ถูกพล็อตในรูปกราฟกับความเร็ว ผลลัพธ์ที่ได้คือกราฟแรงขับเคลื่อน
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้เป็นของสถาบันวิจัยและพัฒนาของเอกสารทดลองที่มีการนำไปใช้
(Tractive effort curve) แสดงใน รูปที่ 2.1 กราฟแรงขับเคลื่อน (Tractive effort curve)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 กราฟแรงขับเคลื่อน (Tractive effort curve)
[source: Pachl J.,2009]

2.1.1.1 ความต้านทาน (Resistance)

ความต้านทานที่สำคัญมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1. Line Resistance หรือ ความต้านทานจากทาง
2. Train Resistance หรือ ความต้านทานจากรถไฟ

2.1.1.1.1 ความต้านทานจากทาง

ความต้านทานจากทางประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือความต้านทานจากความลาดชัน (Grade resistance) และความต้านทานจากโค้ง (Curve resistance) ความต้านทานจากความลาดชันสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$R_{grade} = mg \sin \alpha \quad (2.3)$$

R_{grade} Grade resistance

m mass

g acceleration of gravity

α angle of gradient มุมของความลาดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

โดยทั่วไปความต้านทานจะถูกแสดงในรูปที่จำเพาะโดยตัดพจน์ที่แปรผันกับน้ำหนักรถออก และเนื่องจากทางรถไฟมีมุมของความลาดชันที่น้อยจึงสามารถใช้ $\tan \alpha$ แทน $\sin \alpha$ โดยที่ไม่กระทบกับความถูกต้องนัก ดังนั้นค่าความต้านทานจากความลาดชันจำเพาะจึงเท่ากับค่าความชันดั่งสมการ

$$r_{\text{grade}} = \frac{R_{\text{grade}}}{mg} = \sin \alpha = \tan \alpha = i \quad (2.4)$$

r_{grade} *pecific grade resistance*
 ค่าความต้านทานจากความลาดชันจำเพาะ
 i *grade quotient* ค่าความลาดชันโดยทั่วไปใช้หน่วย %

ความต้านทานชนิดอื่น ๆ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปจำเพาะได้เช่นกันโดยการหารแรงต้านทานด้วยน้ำหนักของรถไฟ ดังนั้นความต้านทานทุกประเภทสามารถแสดงอยู่ในรูปที่เทียบเท่าความลาดชันขาขึ้น ส่วนแรงขับเคลื่อนรถก็สามารถแสดงอยู่ในรูปเทียบเท่าความลาดชันขาลง

ความต้านทานจากโค้งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างล้อกับรางในช่วงทางโค้ง ซึ่งแรงต้านนี้มีทั้งส่วนตามยาวจากความแข็งของโบริกเฟรมที่เรียกว่า *Lengthwise gliding* และส่วนตามขวางจากการที่บังใบเปียดกับรางเรียกว่า *Crosswise gliding*

การเคลื่อนที่ของชุดเพลาล้อไปบนราง:จากการที่ล้อ และเพลายึดติดกันทำให้ล้อทั้งสองข้างหมุนไปด้วยความเร็วเชิงมุมที่เท่ากันเสมอ และล้อมีผิวสัมผัสกับรางที่เอียงทำมุมเล็กน้อยกับแนวราบเป็นมุม 1:20 (USA and Russia) หรือ 1:40 (Europe) ถ้าชุดเพลาล้อไม่อยู่ในตำแหน่งตรงกลางของทางอย่างพอดี รัศมีของล้อ ณ จุดที่สัมผัสกับรางก็จะแตกต่างกันระหว่างล้อ 2 ข้าง

เนื่องจากล้อทั้งสองมีความเร็วเชิงมุมเท่ากัน ล้อที่มีรัศมีมากกว่าที่จุดสัมผัสกับรางจึงเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูงกว่า ซึ่งทำให้ตำแหน่งของเพลาล้อเอียงไปจากแนวของทาง และส่งผลให้ชุดเพลาล้อเบนเข้าสู่ศูนย์กลางของทาง กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นกับล้ออีกด้านหนึ่งเช่นกัน ในลักษณะนี้ชุดเพลาล้อจึงเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นรูปไซน์

แต่เมื่อเข้าทางโค้ง ลักษณะการวิ่งไปข้างหน้าของชุดเพลาที่กล่าวมาในช่วงทางตรงทำให้เกิดแรงต้านที่เป็น *Lengthwise gliding* และในทางโค้งล้อได้ถูกบังคับให้อยู่ในทางโดยบังใบล้อ (Flanges) เนื่องจาก Bearing ทั้ง 4 ตัวที่วางชุดล้อในโครงโบริกนั้นขนานกันทำให้แนวของแกนของเพลาล้อไม่ตรงกับแนวจุดศูนย์กลางของทางโค้ง ความแตกต่างเชิงมุมนี้ถูกชดเชยโดย *Crosswise gliding* ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นที่มาจากแรงต้านส่วนที่สอง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$r_{curve} = \begin{cases} \frac{650}{R-55}; R > 300 \\ \frac{550}{R-55}; R < 300 \end{cases} \quad (2.5)$$

r_{curve} *specific curve resistnace in %o*
 R รัศมีทางโค้ง หน่วยเป็นเมตร

2.1.1.1.2 ความต้านทานจากรถไฟ (Train Resistance)

ความต้านทานจากรถไฟมาจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. Rolling resistance การต้านการหมุนของล้อเกิดจากการ Elastic deformation ที่พื้นที่สัมผัสระหว่างล้อกับราง
2. Bearing resistance การต้านทานที่แบริงเกิดจาก Gliding effect ของรถ
3. Resistance of the traction system การต้านทานที่ระบบขับเคลื่อนล้อเกิดจาก Gliding effect ของรถ
4. Dynamic resistance การต้านทานทางพลศาสตร์เกิดจากการสูญเสียพลังงานจลน์จากการสั่นสะเทือนในส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถไฟ
5. Wind resistance การต้านทานจากลม

การคำนวณหาความต้านทานในแต่ละส่วนเป็นเรื่องที่ยากมาก การหาความต้านทานจากรถไฟจึงเป็นการคิดแบบรวมทุกความต้านทานโดยใช้วิธีเชิงประจักษ์ (Empirical method) ทำได้โดยทดสอบปล่อยให้รถแล่นไปบนรางที่ความเร็วเริ่มต้นที่ต่าง ๆ กันแล้ววัดระยะทางที่รถวิ่งไปจนหยุดเอง (Run-out distance) ด้วยความต้านทานของรถไฟ ของความเร็วที่เริ่มต้น ทำให้ได้สมการเชิงสถิติ ดังเช่น

$$r_{train} = \alpha + \beta v + \gamma v^2 \quad (2.6)$$

r_{train} *specific train resistance*
 v *train speed*
 abg สัมประสิทธิ์เชิงสถิติ

บริษัทผู้ผลิตรถไฟจะมีสูตรประมาณค่าความต้านทานให้ โดยความต้านทานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 รถจักรจะแยกกับความต้านทานของรถพ่วง (รถโดยสาร, รถสินค้า) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่า
 ไม่ว่าจะรถต้านทานของทั้งขบวนรถไฟด้วยการบวกความต้านทานของรถแต่ละคันเข้าด้วยกันสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

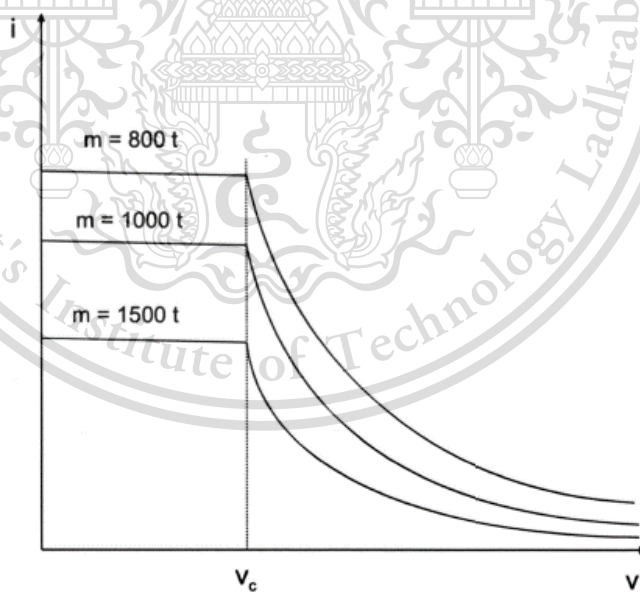
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 Grade-Speed Diagram

ไดอะแกรมความชัน-ความเร็วคือการสรุปลักษณะการขับเคลื่อนของขบวนรถไฟแสดงค่าความชันสูงสุดที่ขบวนรถสามารถวิ่งได้ที่ความเร็วหนึ่งๆ ตัวอย่างในรูปที่ 2.2 Grade-speed diagram แสดงเส้นไดอะแกรมของขบวนรถที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน เส้นไดอะแกรมคำนวณมาจากสูตร

$$i = \frac{F - R_{loco} - r_{carset} m_{carset} g}{m_{loco} g + m_{carset} g} \quad (2.7)$$

| | |
|--------------|--|
| i | <i>grade quotient</i> |
| F | <i>tractive effort</i> |
| R_{loco} | <i>absolute resistance of locomotive</i> |
| r_{carset} | <i>specific resistance of carset</i> |
| m_{loco} | <i>mass of locomotive</i> |
| m_{carset} | <i>mass of carset</i> |
| g | <i>acceleration of gravity</i> |



รูปที่ 2.2 Grade-speed diagram

[source: Pachtl J.,2009]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ค่า i เท่ากับ Specific tractive effort ที่ใช้ในการวิ่งไปบนทางลาดชัน หรือใช้เร่งความเร็วตั้งนั้น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สามารถแสดงได้ว่า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$i_{diagram} = i_{exist} + f_{accel} \quad (2.8)$$

$i_{diagram}$ number of I obtained from the grade speed diagram
 i_{exist} existing grade quotient
 f_{accel} specific force for acceleration
 ความชันของทางรถไฟ
 แรงขับเคลื่อนจำเพาะที่ใช้ได้ในการเร่งความเร็ว

ดังนั้นเมื่อขบวนรถวิ่งขึ้นทางลาดชัน เราสามารถใช้สูตรนี้คำนวณหาแรงขับเคลื่อนจำเพาะในการเร่งความเร็วบนทางลาดชันได้ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณเวลาวิ่งรถ (Running time calculation)

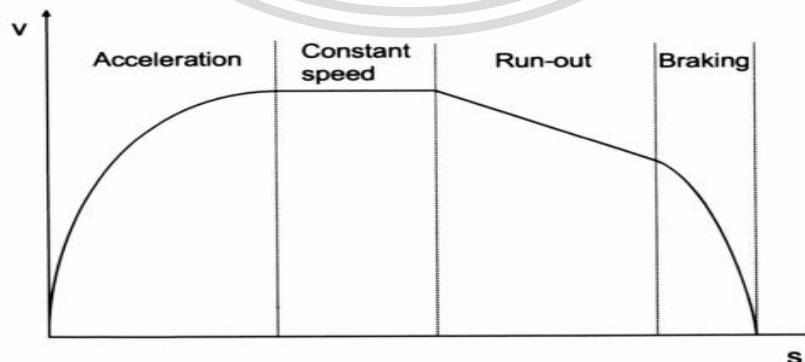
2.1.2.1 การคำนวณเวลาที่ใช้ในการเดินรถ (Running Time Calculation)

การหาเวลาวิ่งรถใช้ขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ

1. คำนวณเส้นความเร็ว
2. อินทิเกรตเส้นความเร็วเพื่อหาเวลาวิ่งรถ

กราฟการเคลื่อนขบวนรถไฟจากสถานีที่ 1 ไปจอดยังสถานีที่ 2 มีลักษณะดังรูปที่ 2.3 ซึ่งการเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย 4 ช่วงคือ

1. ช่วงการเร่งความเร็ว (Acceleration)
2. ช่วงความเร็วคงที่ (Running at constant speed)
3. ช่วงปล่อยให้แล่นเอง (Run-out)
4. ช่วงเบรก (Braking)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.3 การเคลื่อนขบวนรถไฟระหว่างสถานี
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 [source: Pacht J.,2009]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในช่วงเร่งความเร็ว แรงขับเคลื่อนเท่ากับผลรวมของความต้านทานทุกชนิดบวกแรงที่ใช้เร่งความเร็ว

$$F = \sum R + F_a \quad (2.9)$$

F *tractive effort*
 R *resistance forces*
 F_a *acceleration force*

ในช่วงที่วิ่งด้วยความเร็วคงที่ แรงขับเคลื่อนเท่ากับผลรวมของความต้านทานทุกชนิดโดยไม่มีแรงที่เหลือสำหรับการเร่งความเร็ว

$$F = \sum R \quad (2.10)$$

ในช่วงที่ปล่อยให้รถไฟแล่นเอง (Run-out) เป็นช่วงที่ไม่ได้ให้แรงขับเคลื่อน แรงเฉื่อย (Inertial force, $R_{inertia}$) ของรถไฟจึงถูกต้านโดยผลรวมของความต้านทาน

$$R_{inertia} = \sum R \quad (2.11)$$

ในช่วงการเบรก แรงเฉื่อยของรถไฟถูกต้านโดยผลรวมของความต้านทานบวกกับแรงเบรก (F_{brake})

$$R_{inertia} = \sum R + F_{brake} \quad (2.12)$$

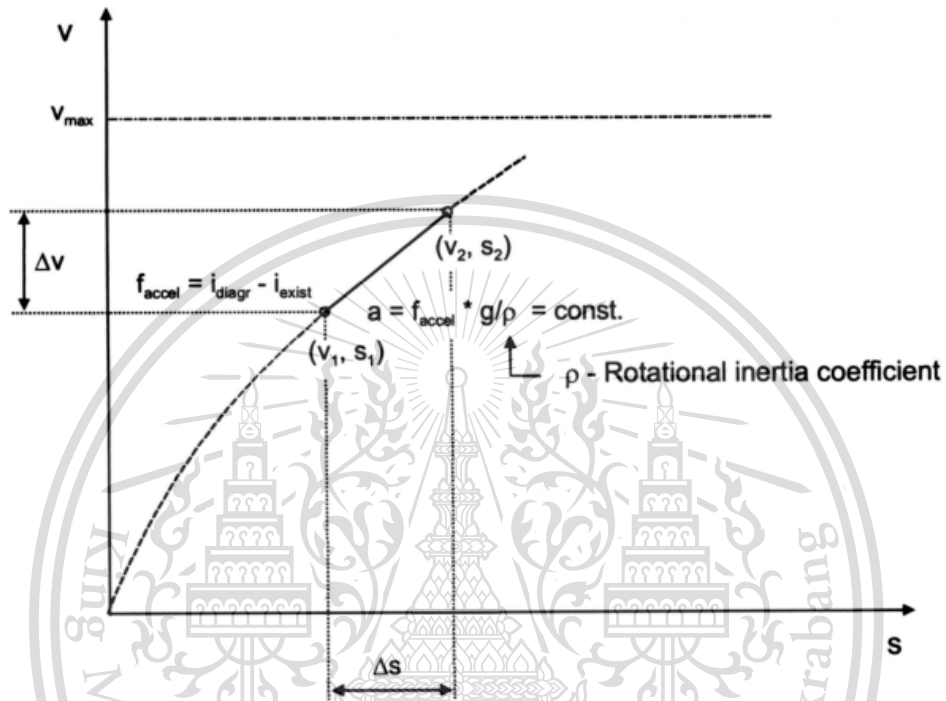
เนื่องจากลักษณะของแรงขับเคลื่อนของรถจักรดังที่กล่าวมามีผลทำให้ความเร่งของขบวนรถไฟไม่คงที่ และความต้านทานของทางรถไฟอาจเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงทางรถไฟ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์คำนวณเส้นความเร็วได้ เราจึงทำได้เพียงประมาณเส้นความเร็วที่ละช่วงของทางรถไฟ ความละเอียดถูกต้องจึงขึ้นกับความถี่ของช่วงทางที่แบ่งการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณช่วงการเร่งความเร็วระหว่าง 2 จุดได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ส่วนการ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำนวณในช่วงอื่นก็ใช้หลักการเดียวกันเริ่มต้นจากคำนวณอัตราเร่ง Specific acceleration เท่ากับความแตกต่างระหว่างค่าเกรด i ที่อ่านได้จาก Grade-speed diagram และค่าความลาดชันของทางที่ตำแหน่งนี้ แล้วจึงแปลงค่า Specific acceleration force ให้เป็นรูป Absolute acceleration force เพื่อหาอัตราเร่งด้วยสูตรของนิวตัน ($F = ma$)



รูปที่ 2.4 การคำนวณช่วงการเร่งความเร็วระหว่าง 2 จุด

[source: Pachl J.,2009]

ในการคำนวณความเร่งในรูปที่ 2.4 มีพจน์ที่เรียกว่า Rotational inertia coefficient เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่คิดถึงผลของความเฉื่อยการหมุนของชิ้นส่วนในรถไฟ โดยหลักการแล้วพลังงานจลน์ของรถไฟประกอบด้วยส่วนที่เป็นพลังงานการเคลื่อนที่เลื่อนตำแหน่ง (Translatory energy) และส่วนที่เป็นการหมุนของมวลในรถไฟ (Rotational energy) การคำนวณ Rotational inertia coefficient ใช้สูตร

$$\rho = 1 + \frac{E_{rot}}{E_{trans}} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

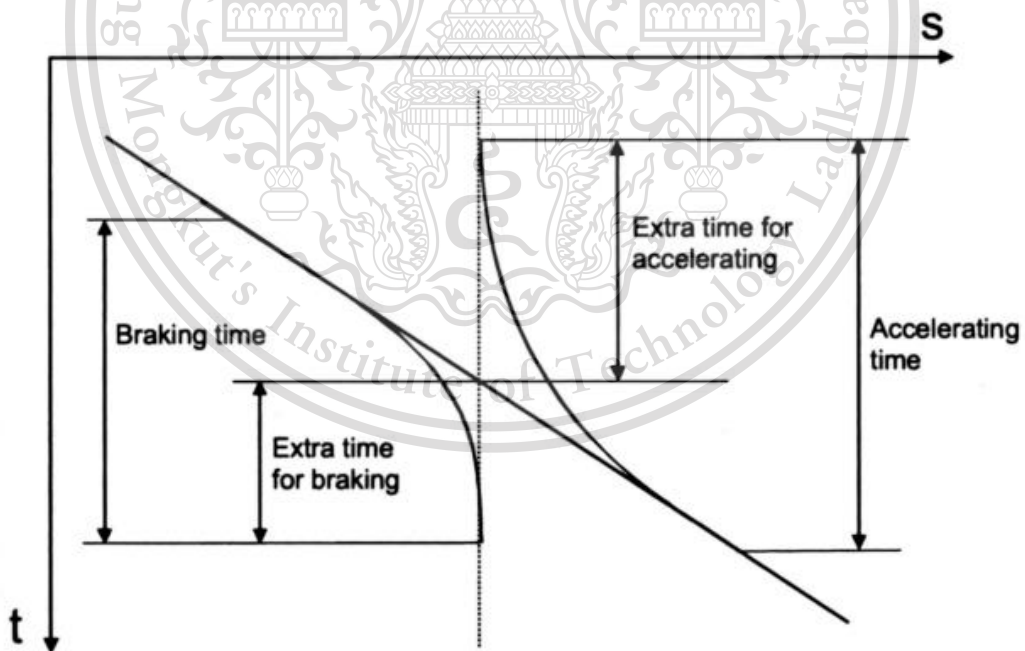
โดยเฉลี่ยแล้ว Rotational inertia coefficient มีค่าเท่ากับ 1.10

เมื่อได้ค่าความเร่งแล้วก็สามารถต่อเส้นความเร็วจากจุดเริ่มไปยังจุดต่อไป หลังจากนั้นก็เริ่มคำนวณหาความเร่งจากจุดต่อไปอีกครั้งโดยใช้ขั้นตอนในลักษณะเดิม ตำแหน่งของจุดต่อไปบนเส้นกราฟขึ้นกับความกว้างของแกน x มีวิธี 2 แบบที่ใช้หาจุดต่อไปของเส้น Speed interval method Distance interval method

วิธี Speed interval มีข้อดีที่ความถี่ของจุดบนเส้นจะเพิ่มตามความอ่อนไหวของเส้นความเร็ว

จากเส้นความเร็ว เราสามารถคำนวณหาเส้น Running time ได้โดยอินทิเกรตเชิงเลข (Numerical integration) จากสูตรข้างล่างนี้โดยใช้ความกว้างแต่ละชั้นเท่ากับความกว้างที่คำนวณหาเส้น Speed curve

$$t = \int \frac{1}{v(s)} ds \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.5 ระยะเวลาเพิ่มเติมที่ใช้ในการเบรก และการเร่งในกรณีหยุด ณ สถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน [source: Pachl et al., 2009] ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 11 and cite the document when use.

ผลการคำนวณ Running time ระหว่างสถานีบนทางรถไฟแต่ละเส้นทางจะถูกเก็บไว้ในรายการ ซึ่งมีผลของขบวนรถไฟทุกขบวนที่จะวิ่งบนเส้นทางนี้ ตารางผลการคำนวณจะแสดงในรูปของระยะเวลากรณีที่รถไฟวิ่งผ่านสถานีโดยไม่จอด และระยะเวลาเพิ่มเติมที่ใช้ในการเบรก และการเร่งในกรณีที่หยุดจอดณสถานี ดังนั้นในการจัดทำตารางเดินรถก็เพียงแค่วกเวลาเพิ่มเติมนี้ และระยะเวลาจอดที่สถานี (Dwell time) เข้าไปใน Running time ของรถไฟที่วิ่งผ่านสถานีโดยไม่จอด

2.2 Cab Signaling

ในการเดินรถไฟนั้น การที่เจ้าหน้าที่ขับรถไฟจะสังเกตท่าสัญญาณริมทางวิ่งให้ได้ข้อมูลอย่างปลอดภัยนั้นไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากมีเวลาน้อยมากในการที่จะสังเกต หรือมองเห็นท่าสัญญาณได้ ดังนั้น ระบบรถไฟจึงได้กำหนดความเร็วสูงสุดเอาไว้ ซึ่งถ้ารถไฟมีความเร็วสูงกว่านี้ จะต้องเปลี่ยนมาใช้ในการแสดงท่าสัญญาณในห้องควบคุมรถ (Cab signaling) แทนสัญญาณริมทางวิ่ง ตามมาตรฐาน UIC 734 เส้นทางเดินรถไฟสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับตามความเร็ว และรูปแบบของท่าสัญญาณ

- Conventional lines เป็นเส้นทางที่ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง สามารถใช้การสังเกตสัญญาณริมทางวิ่งในการเดินรถได้
- เส้นทางที่ความเร็วในการเดินรถสูงขึ้นไปถึง ประมาณ 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 220 กิโลเมตร/ชั่วโมง สัญญาณริมทางวิ่งยังสามารถใช้ได้ ในบางประเทศ แต่มีความจำเป็นต้องปรับแต่งให้เหมาะสม
- ความเร็วสูงกว่า 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 220 กิโลเมตร/ชั่วโมง ต้องใช้การแสดงท่าสัญญาณในห้องควบคุมรถ (Cab signaling) เท่านั้น

อย่างไรก็ดี ขีดจำกัดของการใช้สัญญาณริมทางวิ่งปกติจะกำหนดไว้ที่ประมาณ 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง ยกเว้นในบางประเทศในแถบยุโรปตะวันตกที่ให้ได้ถึงความเร็ว 220 กิโลเมตร/ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาไปใช้ในการผลิตเอกสารหรือสื่ออื่นใดที่มิใช่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการขับรถไฟ

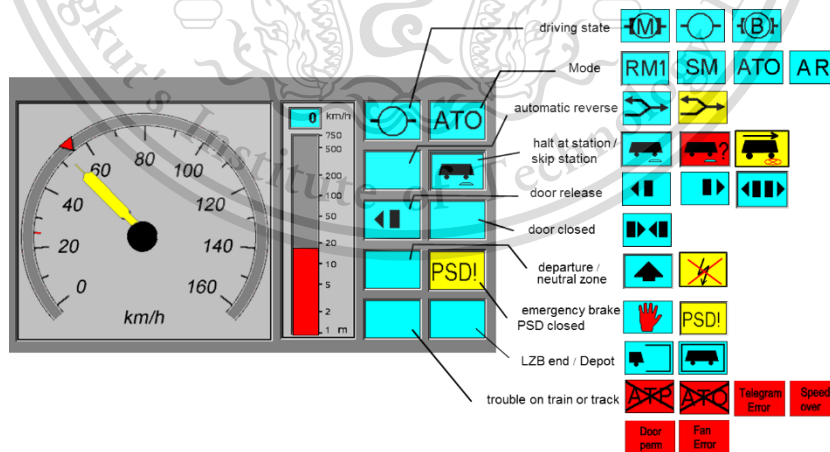
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 หน้าจอแสดงผลบนรถไฟ

พนักงานขับรถต้องเชื่อฟังสัญญาณจากระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling system) อย่างเคร่งครัด เพราะถ้ารถไฟมีการวิ่งฝ่าไฟแดง โอกาสที่จะเกิดการชน หรือตกรางเป็นไปได้สูงมากสัญญาณ ที่ทำหน้าที่ในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า Trackside Signal ในปัจจุบันเนื่องจากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทำให้เราสามารถนำ Trackside Signal ที่ติดตั้งอยู่ด้านนอก เข้ามาแสดงไว้บนตัวรถไฟ ละสามารถให้รถไฟวิ่ง หรือหยุดแบบอัตโนมัติ (ATC, Automatic Train Control) ตามสัญญาณไฟที่รับขึ้นมาได้ Signal ในลักษณะนี้เรียกว่าสัญญาณ Cab Signal อย่างไรก็ตาม สัญญาณตามทางวิ่ง (Trackside Signal) ก็ยังคงต้องมีอยู่ ซึ่งอาจเรียกเป็นระบบเสริม (Backup Trackside Signal) เพื่อใช้ในกรณีที่ระบบเดินรถอัตโนมัติไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้กับรถไฟที่ไม่มีระบบ ATC เช่น Maintenance Train เป็นต้น



รูปที่ 2.8 หน้าจอแสดงผลที่ห้องพนักงานเดินรถแสดงสถานะต่างรวมถึงค่าความเร็วสูงสุดที่อนุญาต

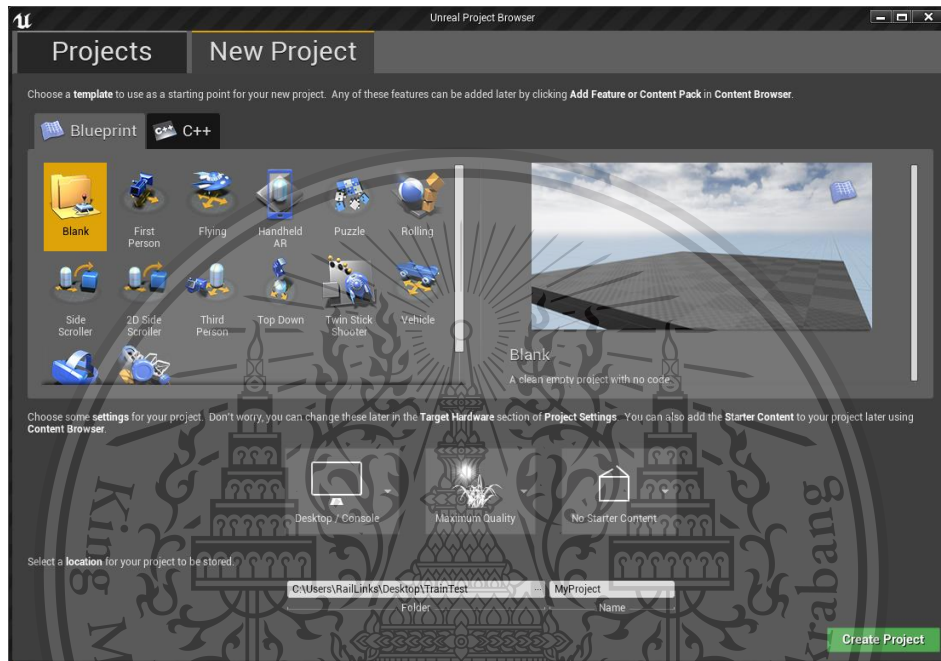
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

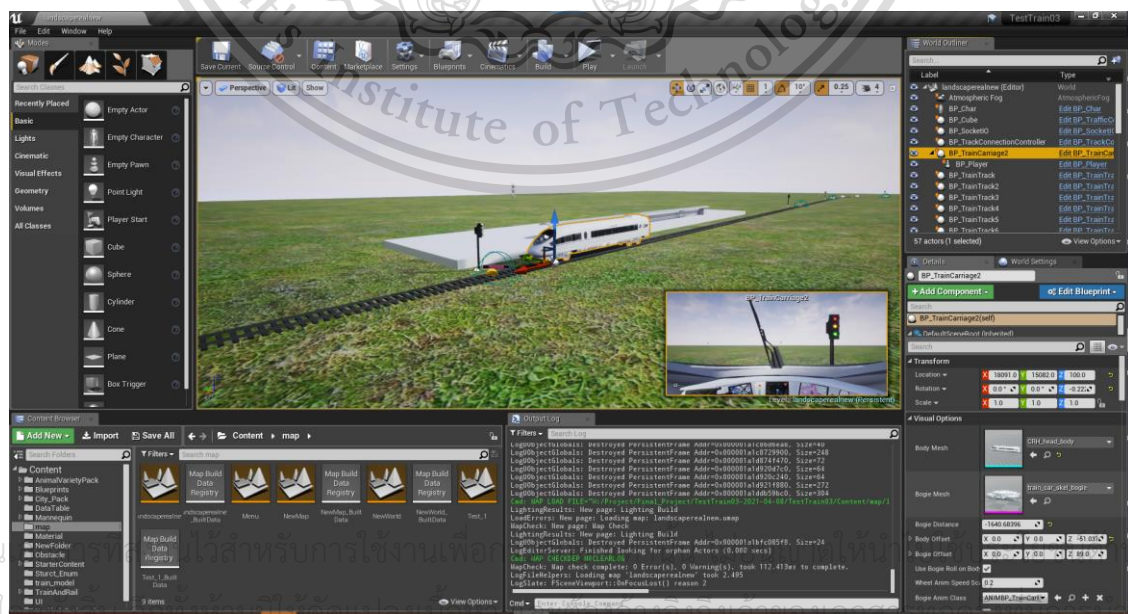
Forbidden to modify the content, 13 cite the document when use.

2.3 Unreal Engine

Unreal Engine คือโปรแกรมสำหรับพัฒนาวิดีโอเกม โดยมีสภาพแวดล้อม และเครื่องมือต่างๆที่พร้อมสำหรับการพัฒนาไว้เสร็จสรรพ การพัฒนาโดย Unreal Engine 4 นั้นสามารถเลือกพัฒนาได้สองแนวทางคือ Blueprint หรือ C++ (เวอร์ชันใช้สำหรับการพัฒนาคือ 4.19)



รูปที่ 2.9 หน้าต่างตอนเลือกสร้างโปรเจกใหม่โดยสามารถเลือกที่จะพัฒนาด้วย Blueprint หรือ C++



รูปที่ 2.10 หน้า Unreal Engine ขณะพัฒนาเกม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

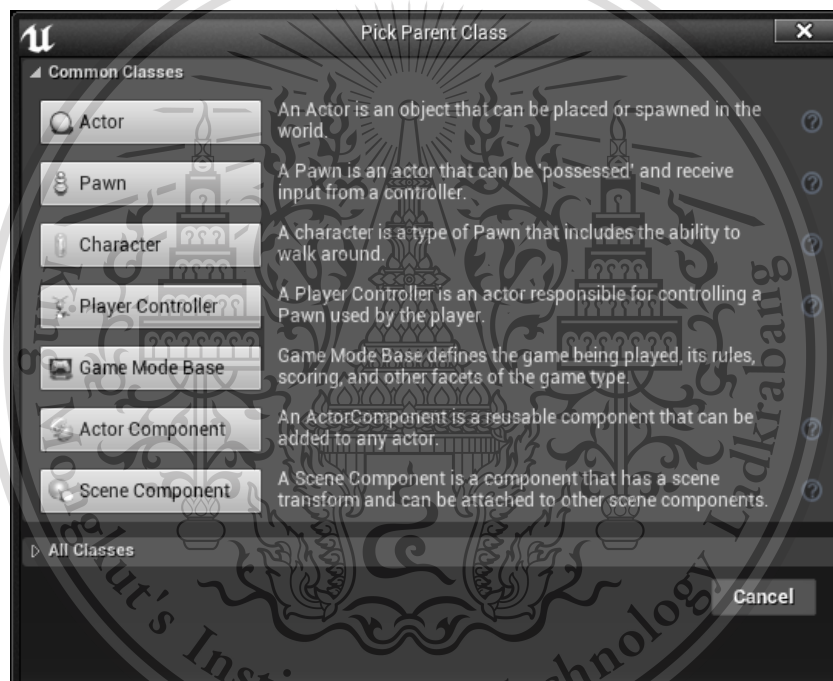
Forbidden to modify the content, 14 cite the document when use.

2.3.1 Blueprint

เป็นระบบที่ทางผู้พัฒนา Unreal Engine ทำขึ้นเพื่อให้เกิดความง่ายในการพัฒนาของผู้พัฒนาเกม เนื่องจากระบบ Blueprint นั้นไม่จำเป็นต้องเขียน Code ที่เป็นภาษา C++ โดยตรง แต่จะใช้สิ่งที่เรียกว่า Virtual Script แทน

Blueprint เปรียบเสมือน Class ที่สามารถนำไปสร้าง Instance ได้อีกหลาย ๆ ตัว โดยจะมี Blueprint พื้นฐานต่าง ๆ เช่น

- Actor คือ Blueprint สำหรับสร้างวัตถุธรรมดา
- Pawn คือ Blueprint ที่เป็น Actor และสามารถควบคุมด้วย Input จากผู้ใช้ได้



รูปที่ 2.11 หน้าสร้าง Blueprint ใหม่ โดย Inherit จาก Class อื่น

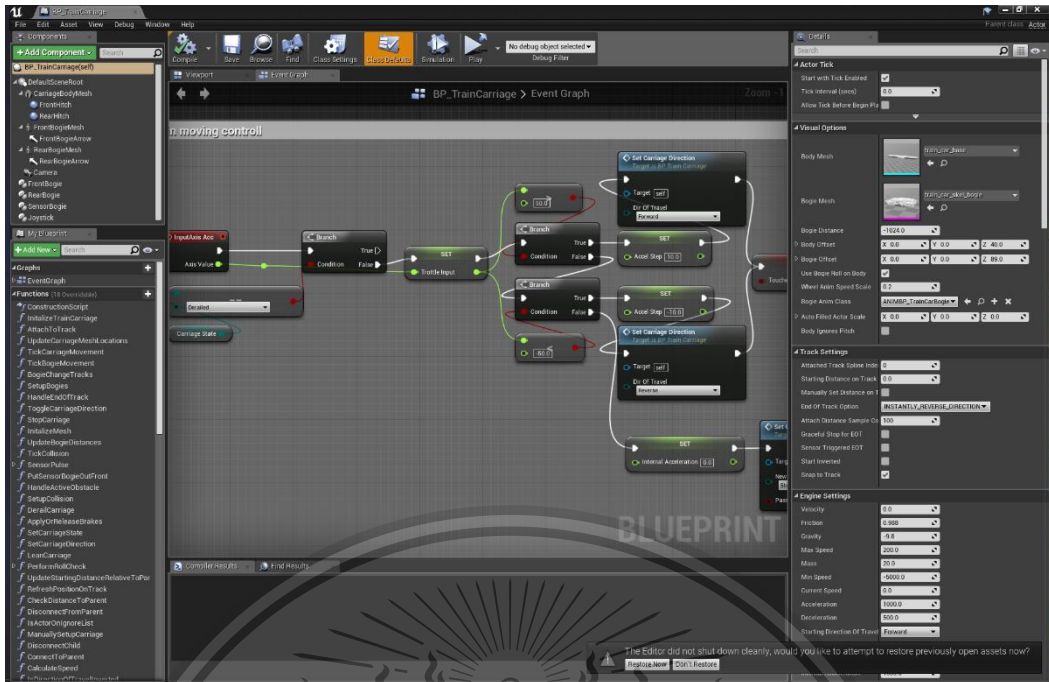
2.3.2 Virtual Script

การพัฒนาโดย Virtual Script จะเป็นลักษณะของการลากบล็อกต่อกันมองเป็นรูปภาพ ซึ่งมีข้อดีคือผู้พัฒนาสามารถเรียนรู้การทำงานของระบบได้รวดเร็ว และสามารถพัฒนาโปรแกรมได้เร็วเช่นกัน

ใน Unreal นั้นหากเลือกพัฒนาโดย Blueprint จะใช้ Virtual Script เป็นหลักในการกำหนดการทำงานของผู้เล่น หรือวัตถุต่างๆ ภายในระบบ โดยแต่ละบล็อก หรือโหนดนั้นจะเชื่อมโยงไปยังโหนดอื่นด้วยเส้นลาก ฝั่งซ้ายคืออินพุต และขวาคือเอาต์พุต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 15 cite the document when use.



รูปที่ 2.12 หน้าตาของ Blueprint Virtual Script ใน Unreal Engine

2.3.3 Mesh และ Material

การพัฒนาบน Unreal ใช้รูปแบบ 3 มิติ สิ่งต่างๆภายในระบบจะถูกมองเป็นวัตถุ ซึ่งวัตถุนั้นสามารถกำหนดคุณสมบัติต่างๆได้จาก Mesh และ Material โดย Mesh นั้นจะรับ Material มาปรับใช้ จากนั้น Blueprint ต่างๆจะนำ Mesh ไปปรับใช้อีกที

Mesh ใช้เพื่อกำหนดรูปร่าง และ Material ใช้เพื่อกำหนดลักษณะของพื้นผิว เช่น สี, ความเรียบ และ ความโปร่งแสง เป็นต้น ซึ่ง Material นั้นจะใช้ระบบ Virtual Script ด้วยเช่นกัน



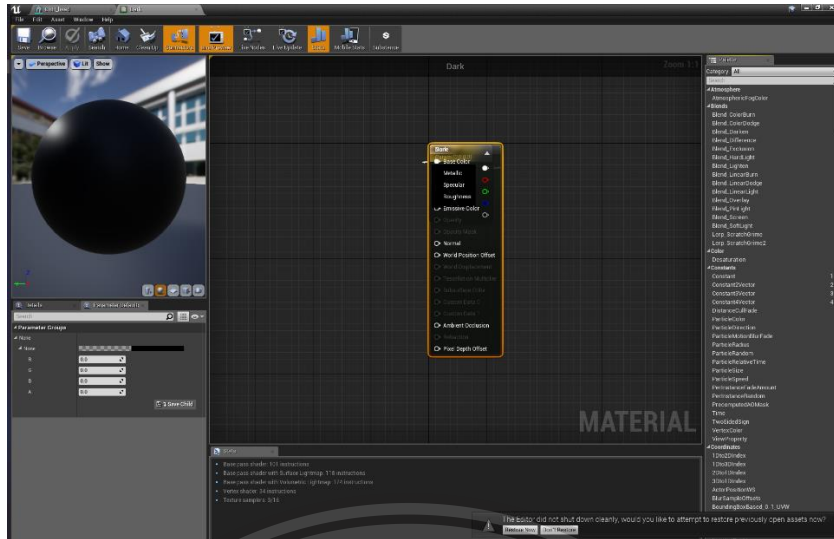
รูปที่ 2.13 รูปร่างของ Mesh ใน Unreal Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

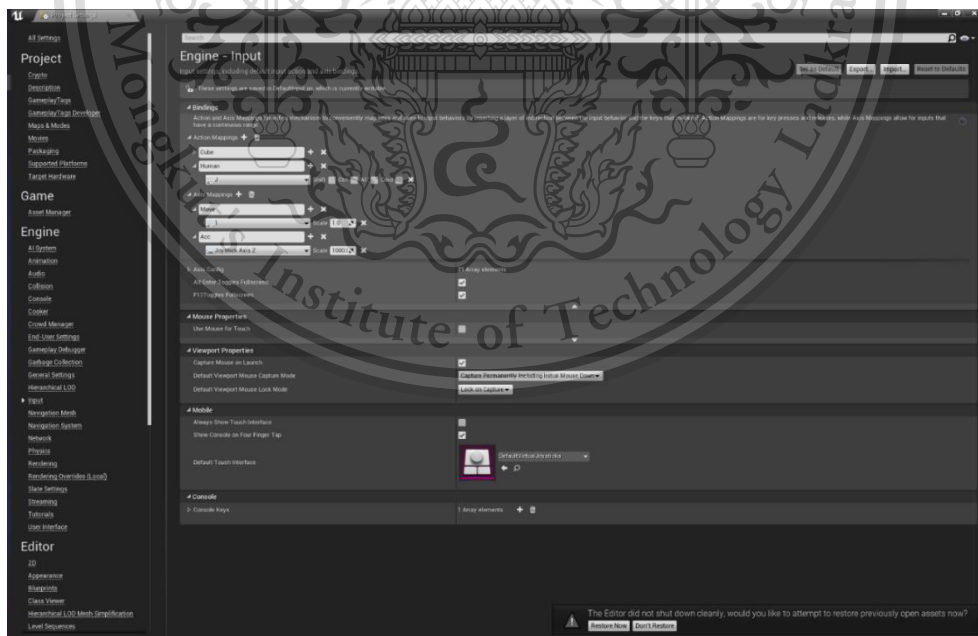
Forbidden to modify the content, 16 cite the document when use.



รูปที่ 2.14 รูปร่างของ Material ใน Unreal Engine

2.3.4 Input

สำหรับควบคุมการทำงานตัวละครของผู้เล่นภายในเกม โดย input นั้นสามารถเลือกได้จากหลายๆ อุปกรณ์ เช่น Keyboard, Mouse และ Joy Stick เป็นต้น



รูปที่ 2.15 หน้าต่างสำหรับปรับแต่งการรับ Input จากผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

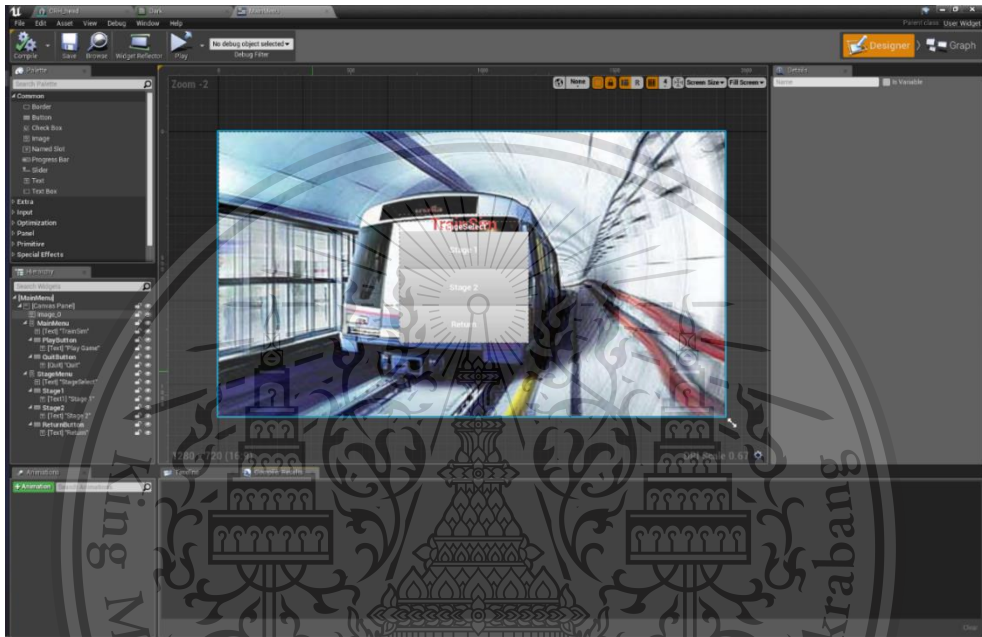
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.5 User Interface (UI)

การควบคุมภายในระบบของ Unreal แยกออกเป็น 2 อย่างคือควบคุมตัวละคร หรือควบคุม User Interface

UI มีไว้เพื่อให้ผู้เล่นได้ควบคุมส่วนต่างๆของโปรแกรมนอกเหนือจากตัวละครภายในระบบ เช่น การเริ่มเกมใหม่ และ การเลือกด่าน เป็นต้น



รูปที่ 2.16 หน้าต่างสำหรับใช้ปรับแต่ง User Interface ใน Unreal Engine

2.4 Node.js

Node.js เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซที่ใช้เพื่อสั่งให้เกิดที่เป็นภาษา JavaScript ทำงาน หรือเรียกว่า JavaScript Runtime ซึ่งทำให้โค้ด JavaScript สามารถทำงานได้โดยปราศจากเว็บเบราว์เซอร์ กล่าวคือหากติดตั้ง Node.js แล้วสามารถที่จะทำให้ JavaScript ทำงานอยู่บนระบบได้

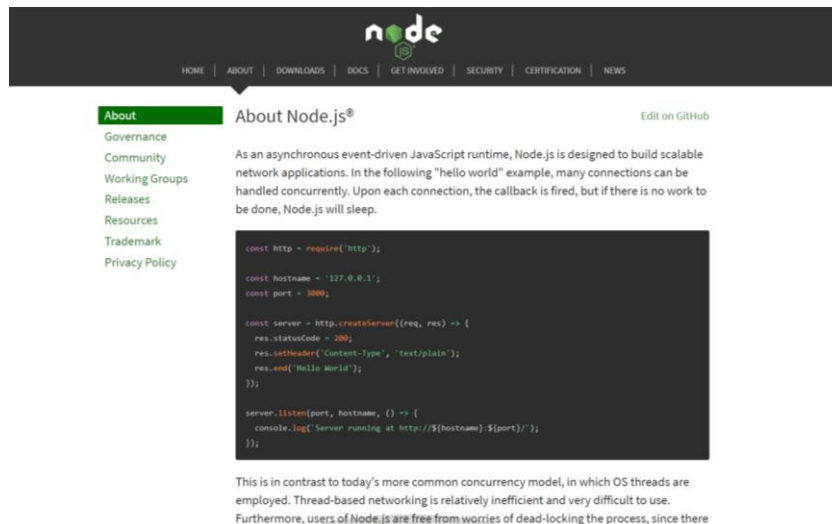
โดยจุดเด่นของ Node.js คือทำงานอยู่บนเทรตเดียว แต่จะใช้ลักษณะการทำงานที่เป็น Asynchronous เพื่อช่วยให้การทำงานนั้นเกิดการรอน้อยที่สุด และสามารถใช้ได้หลากหลายระบบปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็น Linux, Windows หรือ macOS

ลักษณะงานที่สามารถใช้ Node.js เป็นตัวช่วยในการพัฒนาได้นั้นมีหลากหลาย เช่น เว็บ แอปพลิเคชัน, โปรแกรมในลักษณะของเซิร์ฟเวอร์ที่มีการติดต่อผ่านเน็ตเวิร์ค, แอปพลิเคชันมือถือ และ แอปพลิเคชัน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 18 and cite the document when use.



รูปที่ 2.17 หน้าเว็บหลักของ Node.js

2.5 Socket.IO

Socket.IO ไบรารีของ JavaScript ที่เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ ใช้ในการทำงานที่ต้องการความเรียลไทม์ และมีการสื่อสารแบบไปกลับระหว่าง เซิร์ฟเวอร์ และไคลเอ็นต์

ไบรารีจะถูกแยกออกเป็นสองส่วนคือ เซิร์ฟเวอร์ และไคลเอ็นต์ โดยส่วนเซิร์ฟเวอร์นั้นจะทำงานอยู่บน Node.js ส่วนไคลเอ็นต์จะมีไลบรารีที่นำไปปรับใช้อีกหลายภาษา เช่น JavaScript, Java และ C++ เซิร์ฟเวอร์ และไคลเอ็นต์จะพยายามเชื่อมต่อกันผ่าน WebSocket ก่อน หากการเชื่อมต่อด้วย WebSocket ไม่ได้ก็จะเปลี่ยนไปเป็น HTTP long polling แทน โดยลักษณะการทำงานคือ Event-driven หรือคือจะทำงานเมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้น

2.6 Socket.IO Client Plugin for Unreal Engine 4

โปรแกรมส่วนเสริมใน Unreal Engine 4 (UE4) ที่ให้บริการการใช้งาน Socket.IO ไคลเอ็นต์ API ผ่านระบบ Blueprint Visual Scripting ของ โดยส่วนเสริมนี้ได้นำไลบรารี Socket.IO ส่วนไคลเอ็นต์ ที่เขียนขึ้นด้วย C++ มาปรับใช้

2.7 Electron

ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซที่เป็น Framework สำหรับพัฒนาเดสก์ท็อปแอปพลิเคชันที่สามารถรันได้ทั้งบน Linux, Windows และ macOS โดยใช้เว็บเทคโนโลยี JavaScript, HTML, และ CSS โดยอาศัยการรวม Chromium และ Node.js เข้าไปเป็น Electron โดยมีเดสก์ท็อปแอปพลิเคชันเช่น Discord, Microsoft Teams, Visual Studio Code ที่สร้างด้วย Electron

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

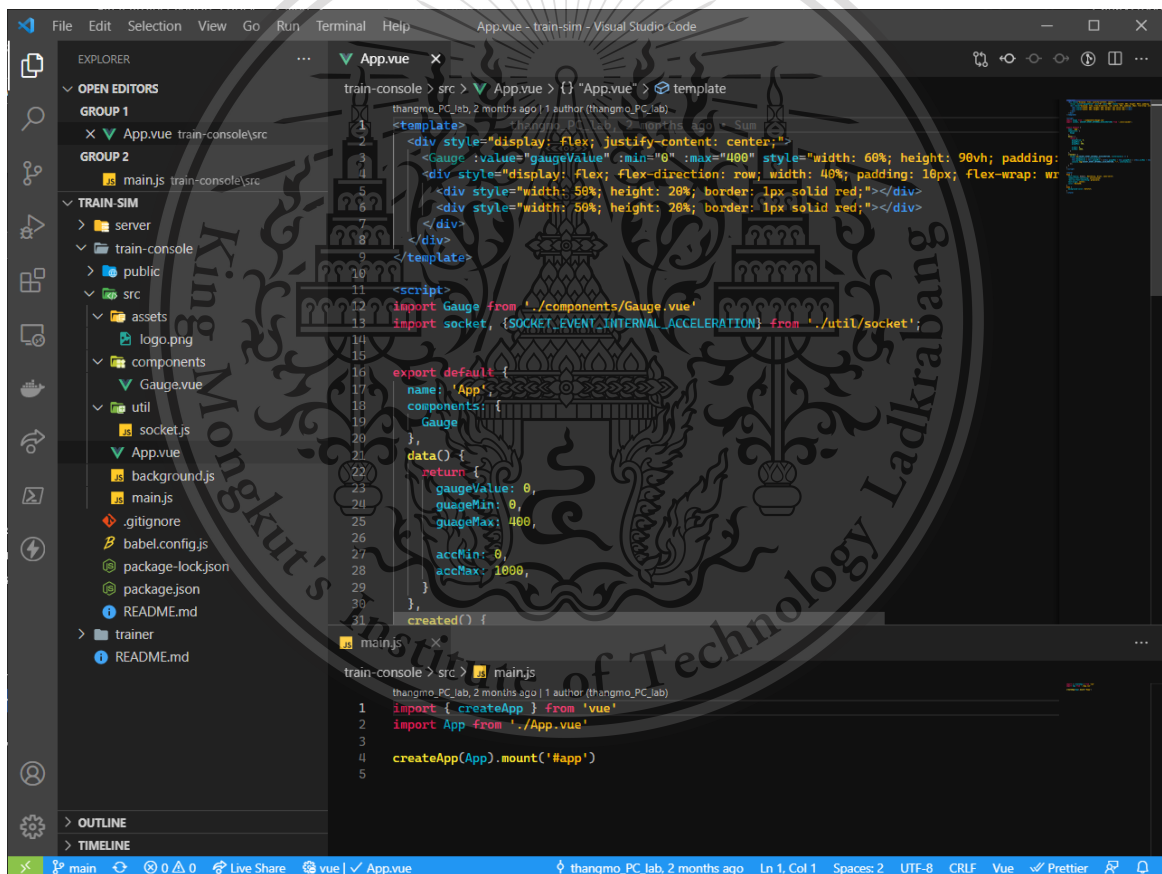
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 Vue.js

เฟรมเวิร์คสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในส่วน Front-end โดยมีจุดเด่นในเรื่องการจัดการไหล
ของข้อมูลในส่วน Front-end ได้อย่างยืดหยุ่น และรองรับในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่มีลักษณะการ
แยกส่วนระหว่างระบบ Front-end และ Back-end

2.8.1 Vue CLI Plugin Electron Builder

โดยปกติแล้วนั้น Vue.js จะใช้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ส่วน Electron ใช้พัฒนาเดสก์ท็อป-
แอปพลิเคชัน แต่หากผู้พัฒนาต้องการนำความสามารถของ Vue.js และ Electron มารวมกันนั้นโปรแกรม
ส่วนเสริมตัวนี้จะใช้ทำหน้าที่นั้น



```
train-console > src > App.vue > {} "App.vue" > template
thangmo_PC.lab, 2 months ago | 1 author (thangmo_PC.lab)
1 <template>
2 <div style="display: flex; justify-content: center;">
3 <gauge :value="gaugeValue" :min="0" :max="400" style="width: 60%; height: 90vh; padding:
4 <div style="display: flex; flex-direction: row; width: 40%; padding: 10px; flex-wrap: wr
5 <div style="width: 50%; height: 20%; border: 1px solid red;"></div>
6 <div style="width: 50%; height: 20%; border: 1px solid red;"></div>
7 </div>
8 </template>
9
10
11 <script>
12 import Gauge from './components/Gauge.vue'
13 import socket, {SOCKET_EVENT_INTERNAL_ACCELERATION} from './util/socket';
14
15
16 export default {
17   name: 'App',
18   components: {
19     Gauge,
20   },
21
22   data() {
23     return {
24       gaugeValue: 0,
25       gaugeMin: 0,
26       gaugeMax: 400,
27
28       accMin: 0,
29       accMax: 1000,
30     };
31   },
32   created() {
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550

```

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

3.1 การออกแบบ Hardware

3.1.1 Display Unit

เป็นระบบที่ใช้แสดงผลภาพ และข้อมูลของการจำลองผลจากคอมพิวเตอร์ โดยประกอบด้วย หน้าจอหลักขนาดใหญ่เป็นหน้าจอแสดงผลภาพการจำลองผล และหน้าจอเล็ก จำนวน 2 หน้าจอ ติดไว้กับ โมเดลจำลอง ใช้แสดงผลข้อมูลสถานะจากการจำลองผล

โดยส่วนหน้าจอใหญ่ที่ใช้แสดงผลภาพจากการจำลองผล ทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับคอมพิวเตอร์ ที่ใช้สร้างผลการจำลอง และหน้าจอเล็กที่ใช้แสดงผลข้อมูลสถานะ จะเชื่อมต่อกับ Data interpreter & display ในส่วนระบบ Input/Output

ซึ่งภายใน Display Unit นี้จะใช้โปรแกรมอีกหนึ่งตัวที่เขียนขึ้นมาเอง นำมาทำการเชื่อมต่อและแสดงผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ**รูปที่ 3.1** Display Unit บนโมเดลจำลอง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 21d cite the document when use.

3.1.2 Light Status Unit

เป็นระบบที่ใช้ควบคุมการแสดงผลสถานะต่าง ๆ บนโมเดลจำลอง โดยระบบควบคุมไฟอยู่บน Microcontroller ในส่วนของระบบ Input/Output และการแสดงผลไฟสถานะนั้น จะสัมพันธ์ไปตามสถานะของปุ่มควบคุมต่าง ๆ ที่อยู่บนโมเดลจำลอง



รูปที่ 3.2 Light Status Unit บนโมเดลจำลอง

3.1.3 Control Unit

เป็นระบบรับค่าของปุ่ม สวิตช์ และคันโยกต่าง ๆ ที่อยู่บนโมเดลจำลอง โดยใช้ Microcontroller เป็นตัวอ่านค่า และแปลค่า



รูปที่ 3.3 ปุ่ม และคันโยกในระบบ Control Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 22 cite the document when use.

3.2 การออกแบบ Input/Output

3.2.1 Microcontroller

ใช้ Microcontroller STM32F407 จาก STMicroelectronics เป็นตัวอ่านค่า และแปลค่าจากระบบ Control Unit ในส่วนระบบ Hardware ออมมาเป็นค่า Digital และทำการจำลองตัวเองเป็นอุปกรณ์ควบคุมของคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะส่งค่าสถานะของระบบ Control Unit ออกมา และทำหน้าที่ควบคุมไฟสถานะต่าง ๆ ในระบบ Light Status Unit โดยใช้ค่าสถานะต่าง ๆ ใน Control Unit เป็นตัวกำหนดการเปิดปิดของไฟสถานะต่าง ๆ



รูปที่ 3.4 Microcontroller STM32F407

3.2.2 Data interpreter & display

เป็นส่วนที่รับค่าสถานะต่าง ๆ จาก Main Simulator จากส่วน Software และแปลค่าสถานะต่าง ๆ ที่ได้จาก Main Simulator จากส่วน Software ออกมาเป็นภาพ และแสดงผลภาพบนระบบ Display Unit ในส่วน Hardware

การออกแบบจะใช้การสร้างเซิร์ฟเวอร์กลางขึ้นมา 1 ตัวโดยให้ Main Simulator เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมให้ทำการเชื่อมต่อเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์นี้และให้เซิร์ฟเวอร์นี้เชื่อมต่อกับ Display Unit อยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 23 cite the document when use.

3.3 การออกแบบ Software

3.3.1 Main Simulator

เป็นส่วนสำคัญในระบบการจำลอง โดยทำหน้าที่ดังนี้

- ใช้ประมวลผลการเคลื่อนไหวของรถไฟ และสิ่งของต่าง ๆ ในระบบจำลอง
- ทำการประมวลผลค่าที่รับมาจาก Microcontroller เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของรถไฟใน Simulator
- ใช้คำนวณค่าผลการจำลองในสถานการณ์ภายใน Simulator
- ใช้แสดงผลภาพจาก Simulator ไปที่ระบบ Display Unit
- ใช้คำนวณ และส่งค่าสถานะการเดินรถไฟไปยัง Data interpreter & display

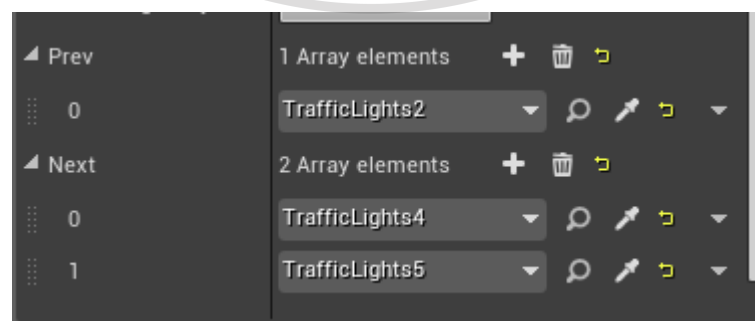
3.3.1.1 แนวคิดในการออกแบบการทำงานขององค์ประกอบต่างๆภายในโปรแกรม

3.3.1.1.1 ตัวรถไฟจำลอง

รถไฟจำลองนั้นจะต้องติดอยู่ และเคลื่อนที่ไปบนรางรถไฟโดยมีความเร็วที่ถูกอินพุตเข้ามาจากผู้ใช้เมื่อรถไฟเคลื่อนที่จากรางบล็อกหนึ่งเข้าสู่รางอีกบล็อกหนึ่งก็จะต้องมีการย้ายสถานะการผูกติดระหว่างรถไฟกับรางเก่าไปเป็นรถไฟกับรางใหม่แทน

3.3.1.1.2 ไฟสัญญาณ

ไฟสัญญาณจะทำหน้าที่แทนระบบอาณัติสัญญาณโดยจะใช้สีบนสัญญาณไฟแทนสถานะของบล็อกต่าง ๆ บนรางโดยที่ สีเขียว แทนสัญญาณว่า ทางสะดวกสามารถผ่านได้ สีเหลือง แทนสัญญาณว่าให้เคลื่อนที่อย่างระมัดระวัง และสีแดง แทนสัญญาณว่า ให้หยุดรอ โดยสีไฟจะสามารถเปลี่ยนได้จากการสั่งการจากภายนอก และการตรวจจับตำแหน่งของรถไฟโดยอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้ชื่อโครงการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 3.5 การตั้งค่าเชื่อมไฟสัญญาณของบล็อกหน้า และหลังไฟสัญญาณนี้

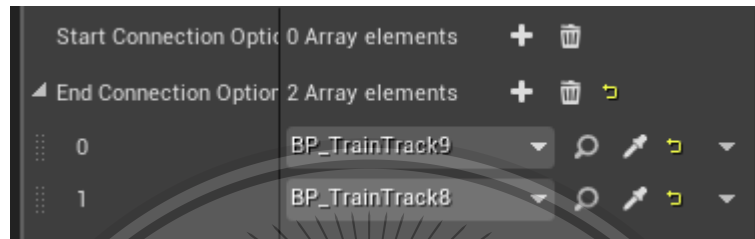
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 24 d cite the document when use.

3.3.1.1.3 ประแจสับราง

ดังที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของตัวรถไฟจำลอง ว่ารถไฟจะมีการผูกติดอยู่กับรางแต่ระบบลือการทำงานของประแจสับรางในโปรแกรมนั้นก็ จะใช้การเปลี่ยนลำดับการผูกรถไฟกับรางจากที่ต้องไปผูกกับราง A ในบล็อคคลัดไป ก็ให้ไปผูกกับราง B แทน เพียงเท่านั้นรถไฟก็จะเปลี่ยนรางที่เคลื่อนที่ไปเองโดยอัตโนมัติ



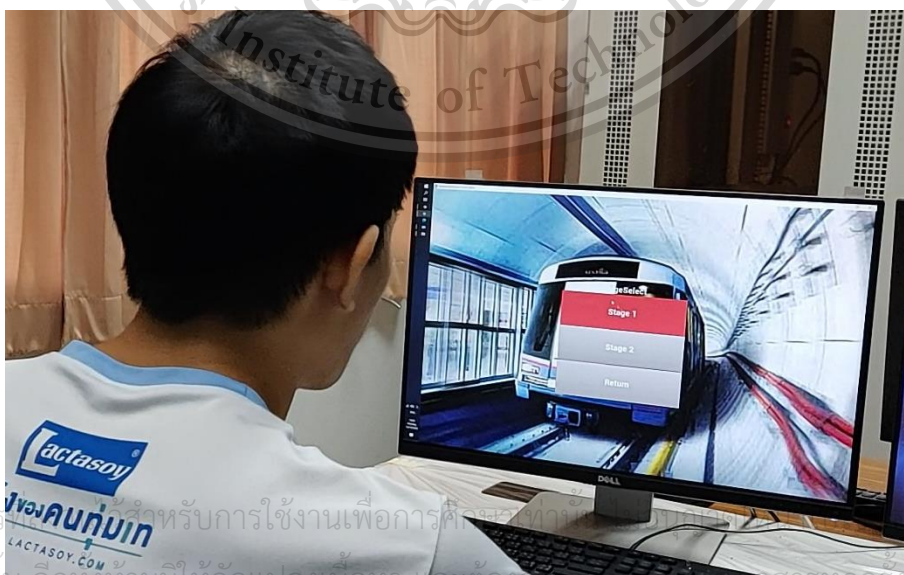
รูปที่ 3.6 การตั้งค่า Object รางที่สามารถเลือกสับประแจไปได้

3.3.1.1.4 สิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวางนั้นแรกเริ่มให้มีการกำหนดจุดเกิด และจุดหมายที่จะต้องเข้าไปขวางบนทางรถไฟเอาไว้ เมื่อได้รับคำสั่งก็ให้ทำการเคลื่อนที่ไปตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้

3.3.2 Level/Event Selection

เป็นส่วนใช้เลือกรูปแบบสถานการณ์ และแผนที่ ต่าง ๆ ที่ต้องการจำลองใน Simulator เพื่อให้ Main Simulator นำไปใช้งาน



รูปที่ 3.7 หน้าการใช้งาน Level Selector

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 25 cite the document when use.

3.3.3 Input Response

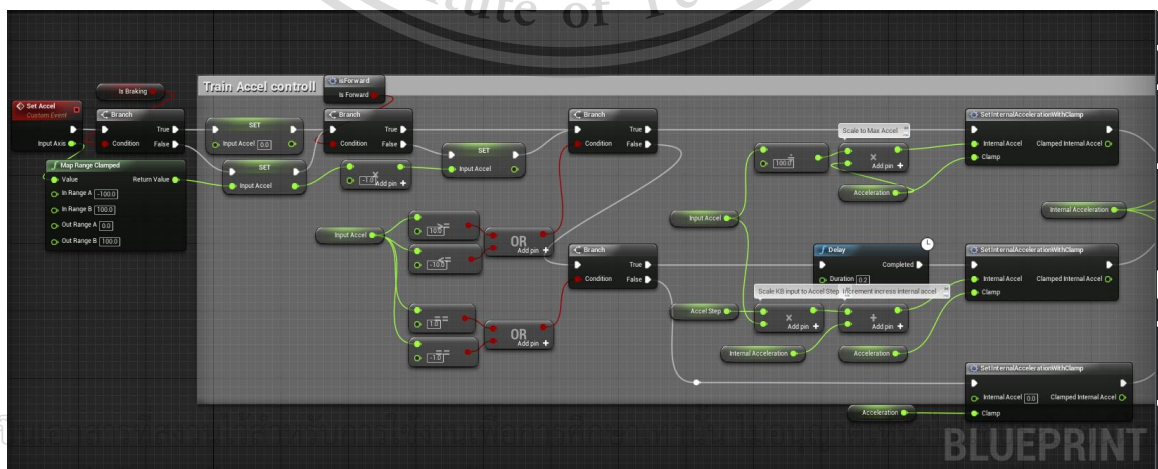
เป็นส่วนรับข้อมูล และประมวลผลค่าที่ได้จาก Microcontroller จากส่วน Input/Output ที่รับเข้ามาจาก Control Unit เพื่อใช้เปลี่ยนแปลงการทำงานต่าง ๆ ของรถไฟใน Simulator เช่นการใช้คันโยก เพื่อควบคุมอัตราเร่งของรถไฟ



รูปที่ 3.8 การใช้คันโยกควบคุมการเดินรถไฟใน Simulator

3.3.3.1 หลักการทำงานของอินพุตจากคันโยก

คันโยกนั้นจะส่งข้อมูลในลักษณะของค่าแอนะล็อก (analog) ที่จะเปลี่ยนไปตามองศาการโยกของคันโยก เราก็จะนำค่านั้นมาแมพ และแปลงค่าให้กลายเป็นค่าความเร็วของรถไฟ การทำแบบนี้จะทำให้ค่าความเร็วของรถไฟนั้นไม่ได้ถูกกำหนดขึ้นมาอย่างตายตัว สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามฟังก์ชันคำนวณความเร็วแล้วแต่ที่เราจะออกแบบใส่ลงไป



เอกสารนี้เ

การค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้เอกสารนี้เพื่อการค้าหรือการโฆษณาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 ส่วนการคำนวณค่า Input จากคันโยก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 26 cite the document when use.

3.3.3.2 หลักการทำงานของอินพุตจากปุ่มหยุดฉุกเฉิน

ปุ่มหยุดฉุกเฉินนั้นปกติแล้วจะต้องออกแบบมาให้ไม่สามารถกดโดยบังเอิญได้ ตัวปุ่มจะต้องถูกล็อกไว้ไม่ให้สามารถกดได้ในตอนแรก และต้องทำการหมุนให้ปุ่มตั้งขึ้นมาก่อนจึงจะใช้งานได้ ซึ่งค่าที่ตัวปุ่มส่งออกมานั้นจะมีค่าแค่ 0 และ 1 เท่านั้น เราจึงจะให้ในตอนเริ่มต้น ปุ่มมีสถานะ หยุดทำงาน (Deactivated) ซึ่งต่อให้ปุ่มนั้นโดนลือคอยู่ในสภาพที่โดนกรรไกรไฟก็จะไม่หยุด แต่จะทำงานเมื่อผู้ใช้ทำการหมุนให้ปุ่มตั้งขึ้นมาเข้าสู่สถานะ (Activated) แต่ด้วยความที่ปุ่มนั้นตั้งขึ้นมาแล้วก็จะยังไม่ส่งคำสั่งหยุดรถไฟไปทันทีที่ต้องให้ผู้ขับขี่กดปุ่มซ้ำลงไปอีกครั้งเพื่อส่งคำสั่งหยุดรถไฟ

3.3.3.3 หลักการทำงานของอินพุตจากปุ่มเปลี่ยนเกียร์เดินหน้า-ถอยหลัง

เนื่องจากความเร็วเป็นค่าแวกเตอร์ที่มีทิศทาง บวกคือไปด้านหน้า ลบคือถอยหลัง เราจึงจะสร้างฟังก์ชันตรวจสอบว่าในขณะนั้นรถไฟอยู่ในเกียร์เดินหน้า หรือถอยหลัง และนำค่าความเร็วที่คำนวณเสร็จแล้วมาคูณเข้ากับบวก หรือลบอีกที โดยสถานะนี้จะเปลี่ยนแปลงได้โดยการรับอินพุตจากปุ่มเปลี่ยนเกียร์นั่นเอง

3.3.4 Software Architecture

โปรแกรมจะถูกแบ่งแยกย่อยออกเป็นหลายๆ โปรแกรม โดย Server เป็นศูนย์กลางในการกระจายคำสั่ง และข้อมูล

โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 4 โหนดคือ

1. Server
2. Train Simulator
3. Speed Gauge
4. Instructor Program

โดย Train Simulator, Speed Gauge และ Instructor Program นั้นจะคอยรับส่งคำสั่ง และข้อมูลกับ Server

โปรแกรมที่ทางผู้จัดทำเน้นพัฒนาเป็นหลักคือ Train Simulator ดังนั้นในการออกแบบต้องทำให้ Train Simulator นั้นแม้ว่าจะทำงานอย่างโดดเดี่ยวโดยไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมใดก็สามารถทำได้ด้วยตัวมันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

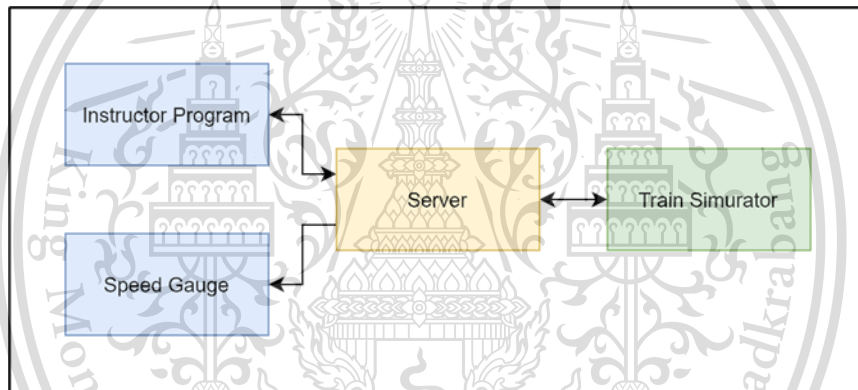
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 27d cite the document when use.

จุดเด่นของลักษณะการออกแบบเช่นนี้คือ

- โปรแกรมแต่ละตัวแยกตัวออกจากกันตามลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป ทำให้การทำงานจริงนั้นแม้จะขาดโปรแกรมบางส่วนไป ส่วนที่เหลือก็ยังสามารถทำงานได้อยู่
- สามารถเลือกใช้เครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมแต่ละตัวได้อย่างอิสระ
- โปรแกรมแต่ละตัวเปรียบเสมือนปลั๊กที่สามารถนำมาเสียบเข้า และถอดออกจาก Server ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกัน เช่นนี้แล้ว Train Simulator ก็สามารถทำงานอย่างโดดเดี่ยวโดยไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมส่วนเสริมที่เสียบได้

วิธีการทำงานจากภาพด้านล่างด้วยสถาปัตยกรรมตัวอย่าง เช่น Server จะคอยรับค่าความเร็วของรถไฟจากทาง Main Simulator จากนั้น Server จึงกระจายต่อไปยังโหนดอื่นๆ Speed Gauge ที่คอยรับค่าความเร็วจากเซิร์ฟเวอร์มาแสดงผลต่อ เป็นต้น



รูปที่ 3.10 Software Architecture

3.3.5 Communication Protocol

จากหัวข้อ 3.3.4 Software Architecture ที่กล่าวไปสิ่งที่ระบบต้องการคือการสื่อสารระหว่างแต่ละโหนดกับ Server ที่สามารถสื่อสารไปกลับได้ในแบบ Real-time สิ่งที่เหมาะที่ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้คือ Socket.io ซึ่งแต่ละโหนดจะส่งคำสั่ง และข้อมูลผ่านทางโปรโตคอลนี้

3.3.6 Server

จากหัวข้อ 3.3.4 Software Architecture โปรแกรมนี้ทำหน้าที่ในการเป็นตัวกลางในการกระจายคำสั่ง และข้อมูลไปยังโหนดต่างๆ พัฒนาขึ้นโดย JavaScript

ส่วนหลักของโปรแกรมนั้นจะใช้ไลบรารี Socket.IO-Server เพื่อเป็นตัวที่คอยรับคำสั่ง และข้อมูลต่างๆ ที่ถูกส่งมาจากแต่ละโหนด จากนั้นจึงกระจายต่อไปยังโหนดอื่นๆ ผ่านทาง Socket.IO อีกเช่นกัน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 28 | cite the document when use.

3.3.7 Speed Gauge

เดสก์ท็อปแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลระดับความเร็วของรถไฟ โดยดึงรับค่าความเร็วจากทาง server โดย Speed Gauge นั้นพัฒนาขึ้นด้วย Electron และ Vue.js

Speed Gauge นั้นจะอยู่ในลักษณะของเข็มที่เป็นอนาล็อก มีรูปร่างเป็นวงกลม การแสดงผลนั้นจะใช้เทคนิคการวาดภาพ โดยใช้ Scalable Vector Graphics (SVG) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวาดกราฟฟิกสำหรับ HTML จุดบนระนาบที่วาดจะถูกอ้างอิงด้วยระบบคาร์ทีเซียน การวาดจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ สเกลความเร็ว และเข็มบอกความเร็ว

การวาดเข็มบอกความเร็ว เดิมทีค่าความเร็วที่รับมาจากเซิร์ฟเวอร์เป็นค่าในเชิงเส้น ในการแสดงผลความเร็วที่เป็นเข็มชี้ภายในวงกลม จำต้องนำค่าความเร็วที่รับมาแปลงเป็นค่ามุมในช่วง $-x$ ถึง x หน่วยองศา เช่น ค่าจากเซิร์ฟเวอร์คือ 0 ถึง 1000 แปลงเป็นค่ามุม -120 องศา ถึง 120 องศา จากนั้นแปลงค่ามุมที่ได้ให้อยู่ในระบบคาร์ทีเซียนกล่าวคือ แปลงพิกัดจากระบบเชิงขั้วเป็นพิกัดระบบคาร์ทีเซียน

3.3.8 Instructor Program

โปรแกรมที่ทำหน้าที่ส่งคำสั่งต่างๆ ของผู้ฝึกสอน เช่น เปิดปิดสัญญาณไฟ, สับราง และกำหนดเหตุการณ์ต่างๆ ไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่าน Socket.IO โดย Instructor Program นั้นพัฒนาขึ้นด้วย Electron และ Vue.js เช่นเดียวกับ Speed Gauge Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 29 and cite the document when use.

บทที่ 4

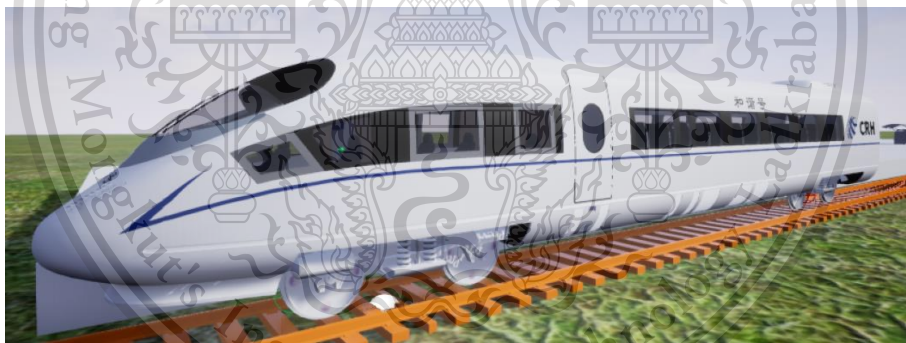
ผลการทดลอง

4.1 ชุดจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ขับขี่

4.1.1 โปรแกรมจำลองการขับรถไฟ

4.1.1.1 องค์ประกอบของโปรแกรมจำลองการขับรถไฟ

ในตัวโปรแกรมนั้นจะประกอบไปด้วย รถไฟจำลอง รางรถไฟ ไฟสัญญาณ สถานีรถไฟ และสิ่งกีดขวางทางรถไฟ ซึ่งตัวผู้ขับขี่จะได้เห็นมุมมองเหมือนนั่งอยู่ในคอนโซลควบคุมรถไฟ และใช้ตัวคอนโซลจำลองในการควบคุมรถ



รูปที่ 4.1 ตัวรถไฟจำลอง



รูปที่ 4.2 มุมมองผู้ขับรถไฟจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 รางรถไฟ



รูปที่ 4.4 ไฟสัญญาณ



รูปที่ 4.5 สถานีรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 31d cite the document when use.



รูปที่ 4.6 สิ่งกีดขวางทางรถไฟ

4.1.1.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองการขับชี่รถไฟ

1. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะเห็นได้ว่ามีหน้าเมนูหลัก (Main menu) เพื่อให้ผู้ใช้งานได้เลือกที่จะกดเริ่มเกม หรือออกจากโปรแกรมดังในรูปที่ 4.7 หน้าเมนูหลักของโปรแกรม
2. เมื่อเรากดเริ่มเกมเข้ามาก็จะมาต่อในหน้าที่จะให้ผู้ใช้งานได้เลือกด่านจำลอง (Stage select) ที่ต้องการจะเข้าไปใช้งาน
3. ผู้ใช้จะเข้ามายังตัวจำลองซึ่งจะแสดงให้เห็นมุมมองของผู้ขับชี่ที่อยู่ในหัวรถไฟ มองออกไปเห็นวิวทัศนด้านนอก และต่อจากนี้ผู้ใช้ก็สามารถขับเคลื่อนตัวรถไฟผ่านทางคอนโซลจำลองที่ได้มีการเตรียมไว้ได้เลย



รูปที่ 4.7 หน้าเมนูหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตโดยมีค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีบทลงโทษตามกฎหมายอีกด้วย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 32d cite the document when use.



รูปที่ 4.8 หน้าเมนูเลือกด่านจำลอง



รูปที่ 4.9 มุมมองของผู้ขับขี่บนหัวรถไฟ



รูปที่ 4.10 รถไฟขับเคลื่อนไปตามการควบคุมความเร็วจากผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น
 ยชน์ด้านการค้า
 มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 33 cite the document when use.



รูปที่ 4.13 สถานะของไฟสัญญาณเมื่อรถไฟเข้าสู่บล็อก

4.1.1.3.2 ประแจสับราง

ประแจสับรางจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเส้นทางของรถไฟให้รถไฟวิ่งบนรางอีกรางหนึ่งที่ยกออกมาจากรางปกติ ซึ่งประแจสับรางนี้จะทำงานจากการสั่งการของโปรแกรมผู้ฝึกสอนที่อยู่ภายนอกเท่านั้น หากประแจสับรางล๊อคไว้ที่รางไหน รถไฟก็จะเคลื่อนที่ไปตามรางนั้น



รูปที่ 4.14 รถไฟขณะที่ประแจล๊อคไว้ที่รางฝั่งซ้าย

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าในทางคู่ขนานนั้นรถไฟวิ่งอยู่ในรางทางซ้ายแต่เมื่อเราเอกสารนี้สั่งการประแจสับรางให้เปลี่ยนเส้นทางมาล๊อคอยู่ที่รางขวาในรอับถัดไป อนุญาต รถไฟก็จะทำการเลี้ยวเปลี่ยนการค้ำเส้นทางเข้าไปยังรางทางด้านขวาแทนดังในภาพที่ 4.15 อย่างอังกถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

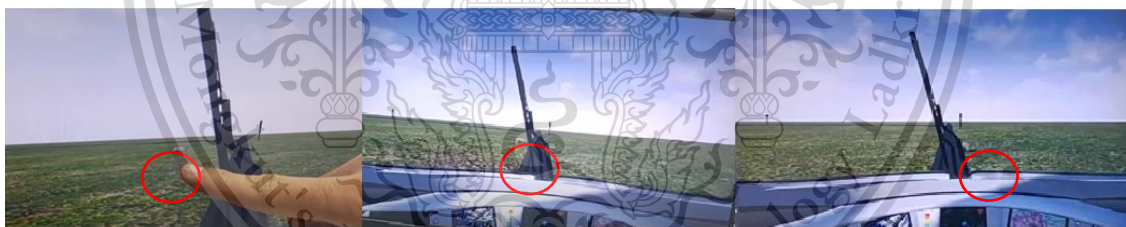
Forbidden to modify the content, 35d cite the document when use.



รูปที่ 4.15 รถไฟขณะที่ประแจล็อกไว้ที่รางฝั่งขวา

4.1.1.3.3 สิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวางในโปรแกรมจำลองนั้นจะรับคำสั่งจากโปรแกรมผู้ฝึกสอนที่อยู่ภายนอกเพื่อทำการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่ยืนอยู่ เข้าขวางแนวการวิ่งของรถไฟเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ตอบสนองต่อสถานการณ์อย่างทันท่วงที



รูปที่ 4.16 สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ขวางแนวการวิ่งของรถไฟ

4.1.2 คอนโซลจำลองสำหรับใช้ควบคุมตัวรถไฟ

4.1.2.1 องค์ประกอบของคอนโซลจำลองสำหรับใช้ควบคุมตัวรถไฟ

ในคอนโซลจำลองนั้นจะประกอบไปด้วย คันโยกสำหรับปรับเพิ่ม-ลดความเร็วของรถไฟที่ หากโยกไปข้างหน้ารถไฟจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นถ้าโยกมาข้างหลังความเร็วก็จะลดลง ปุ่มสำหรับตั้งเกียร์ เดินหน้า-ถอยหลัง ปุ่มหยุดฉุกเฉิน และหน้าจอแสดงความเร็วของรถไฟ ซึ่งจะสื่อสารกับตัวคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง Microcontroller เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 36d cite the document when use.



รูปที่ 4.17 องค์ประกอบต่างๆของคอนโซลจำลอง

4.1.2.2 ผลการทำงานขององค์ประกอบต่างๆบนคอนโซลจำลอง

4.1.2.2.1 คันโยกสำหรับปรับเพิ่ม-ลดความเร็ว และหน้าจอแสดงค่าความเร็ว

ตัวคันโยกจะสามารถใช้ปรับเพิ่มลดความเร็วของรถไฟโดยมีระยะอยู่ที่ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมงถึง 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่ถ้าคันโยกถูกดึงเข้าหาตัวผู้ขับขี่ก็จะเป็นการลดความเร็ว และเข็มหน้าปัดความเร็วก็จะเข้าใกล้เลข 0 เมื่อดันออกจากตัวผู้ขับขี่ก็จะเป็นการเพิ่มความเร็ว และเข็มหน้าปัดก็จะวิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.18 การปรับความเร็วของรถไฟโดยคันโยก



รูปที่ 4.18 การปรับความเร็วของรถไฟโดยคันโยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 37d cite the document when use.

4.1.2.2.2 ปุ่มหยุดฉุกเฉิน

ปุ่มหยุดฉุกเฉินเมื่อกดแล้วจะทำให้ความเร็วของรถไฟถูกตัดลงเป็น 0 ทันทีซึ่งจะส่งผลให้รถไฟหยุดอย่างกะทันหัน ในตอนแรกปุ่มหยุดฉุกเฉินนั้นจะยังไม่สามารถกดได้ทันที ต้องทำการหมุนให้ปุ่มตั้งขึ้นมา และหลอดไฟบริเวณคอนโซลติดขึ้นมาก่อนจึงจะกดได้ตามรูปที่ 4.19 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะที่ยังไม่ทำงาน และรูปที่ 4.20 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะพร้อมทำงาน



รูปที่ 4.19 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะที่ยังไม่ทำงาน



รูปที่ 4.20 ปุ่มหยุดฉุกเฉินในสถานะพร้อมทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 38d cite the document when use.



รูปที่ 4.21 การกดปุ่มหยุดฉุกเฉินเพื่อตัดความเร็วของรถไฟทันที

4.1.2.2.3 ปุ่มสลับเกียร์เดินหน้า-ถอยหลัง

รถไฟในโหมดปกตินั้นจะถูกตั้งค่าให้เป็นเกียร์เดินหน้าตั้งแต่ตอนเริ่มโปรแกรมจำลองซึ่งสามารถใช้ปุ่มสลับเกียร์นี้ได้ง่าย ๆ โดยที่ปุ่มซ้ายจะเป็นเกียร์ถอยหลัง และปุ่มขวาเป็นเกียร์เดินหน้า เพียงแค่หยุดรถไฟแล้วกดปุ่มเปลี่ยนเกียร์ดังในรูปที่ 4.21 การกดปุ่มหยุดฉุกเฉินเพื่อตัดความเร็วของรถไฟทันที รถไฟก็จะสามารถเคลื่อนที่ถอยหลังโดยที่ยังรับค่าความเร็วจากคันโยกเช่นเดิม



รูปที่ 4.22 การกดปุ่มเปลี่ยนเป็นเกียร์ถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 39 | cite the document when use.



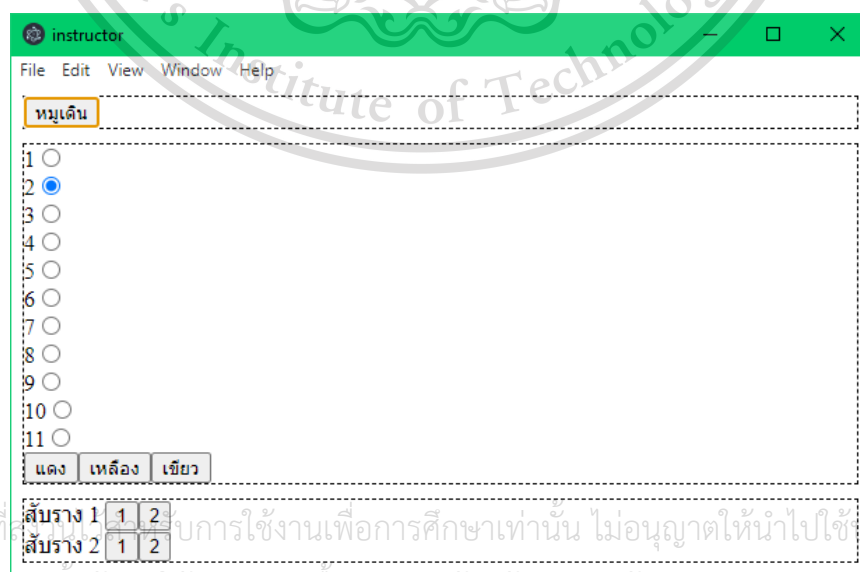
รูปที่ 4.23 การทำงานของหน้าปัด และคันโยกเช่นเดิมในขณะที่รถไฟถอยหลังอยู่

4.2 โปรแกรมควบคุมระบบจำลองการขับรถไฟสำหรับผู้ฝึกสอน

เป็นโปรแกรมที่จะทำการส่งคำสั่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลางเพื่อที่จะกระจายต่อไปยังโปรแกรมจำลองหลักอีกทีหนึ่ง

ในโปรแกรมนั้นผู้ฝึกสอนสามารถควบคุมสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบจำลองได้ดังนี้

1. สามารถควบคุมสัญญาณไฟในแต่ละจุดเพื่อเป็นการบอกว่าในบล็อกนี้เป็นบล็อกที่มีรถไฟอื่นอยู่แล้ว โดยการเลือกหมายเลขของเสาสัญญาณ และสีที่จะเปลี่ยน
2. สามารถควบคุมประแจสับรางเพื่อให้รถไฟเปลี่ยนเส้นทางการขับขี่ได้
3. สามารถสั่งการสิ่งกีดขวางให้วิ่งตัดผ่านทางรถไฟได้



รูปที่ 4.24 โปรแกรมควบคุมสำหรับผู้ฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 40 d cite the document when use.

4.3 เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลาง

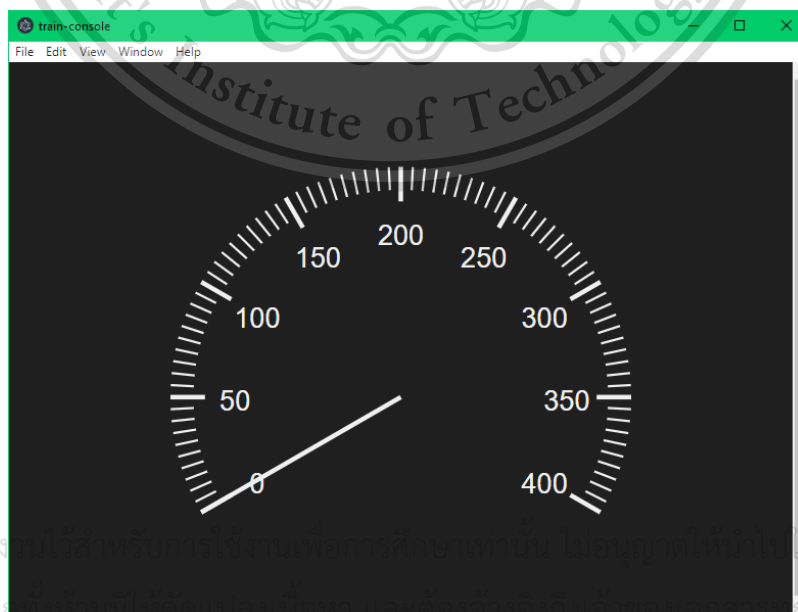
1. รับคำสั่ง และข้อมูลจากโหนดต่างๆ ได้
2. กระจาย หรือส่งต่อข้อมูล และคำสั่งไปยังโหนดอื่นๆ ได้
3. หลังจากผู้ใช้เลือกท่าน และเข้าไปยังโปรแกรมจำลองแล้วจะมีการเชื่อมต่อเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลางโดยอัตโนมัติดังรูปที่ 4.25 เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลาง

```
> node index.js  
  
listening on 0.0.0.0:3000  
User connected 'FF-ipwR5B-jWvBOhAAAA', total: 1  
User connected 'bRmMTqJAm-fR0eUnAAAB', total: 2
```

รูปที่ 4.25 เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลาง

4.4 โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ

1. รับค่าความเร็วจากเซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลางได้โดยที่ค่าความเร็วนั้นจะถูกคำนวณภายในตัวรถไฟ และส่งออกมาสู่เซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลางอีกที
2. นำความเร็วที่รับมาแปลงค่า และแสดงผลความเร็วได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.26 โปรแกรมจำลองหน้าจอในห้องเครื่องของรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏไว้ ไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานใดๆทั้งสิ้น

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปภาพรวมของปริญญานิพนธ์

ระบบชุดจำลองการขับรถไฟของเรานั้นสามารถใช้บังคับควบคุมความเร็วของตัวรถไฟรวมถึงทิศทางการวิ่ง และการหยุดแบบฉุกเฉินที่ควบคุมผ่านทางคอนโซลจำลองที่มีหน้าจอแสดงสถานะความเร็วของรถไฟ ประกอบกับโปรแกรมภายนอกสำหรับใช้ควบคุมสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโปรแกรมจำลอง ได้แก่ ควบคุมไฟสัญญาณที่แสดงถึงสถานะของบล็อกแต่ละบล็อก และยังเปลี่ยนสีเองโดยอัตโนมัติได้เมื่อรถไฟวิ่งผ่าน, สับรางรถไฟเพื่อให้รถไฟวิ่งเข้าไปยังรางอื่น และปล่อยสิ่งกีดขวางทางรถไฟ

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินการ

1. เครื่องข่ายอินเทอร์เน็ตของมหาวิทยาลัยบล็อกการเข้าถึงเซิร์ฟเวอร์ของ Epic Game Store ซึ่งเป็นเจ้าของ Unreal engine ทำให้ Socket IO ทดลองได้แค่ใน localhost เท่านั้น
2. ตัวโมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้แปลงอินพุตจากคอนโซลจำลองเข้าสู่ตัวโปรแกรมนั้นมีความไม่เสถียรบางครั้งอินพุตก็ผิดพลาด
3. โมเดล 3D สำเร็จรูปที่นำมาใช้เป็นสิ่งกีดขวางทางรถไฟนั้นไม่ได้วางระบบฟิสิกส์แบบที่เราต้องการไว้ ทำให้มีข้อจำกัดในด้านความสมจริงของฟิสิกส์

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. ทำตัวแปลงอินพุตของคอนโซลจำลองใหม่ให้สมจริงยิ่งขึ้น และเสถียรมากขึ้น
2. ปรับโมเดล 3D ขึ้นมาใหม่เองทั้งหมดโดยวางระบบฟิสิกส์ให้สมจริงตามที่ต้องการ
3. ทำด่านเพิ่มขึ้นโดยอิงจากสิ่งที่มีอยู่จริง
4. เพิ่มในส่วนของผู้โดยสารที่ขึ้นลงในแต่ละสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 42 d cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] “Features - Unreal Engine,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/features>.
- [2] “Blueprint Visual Scripting | Unreal Engine Documentation,” [ออนไลน์]. Available: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/index.html>.
- [3] MDN contributors, “SVG: Scalable Vector Graphics | MDN,” 15 03 2021. [ออนไลน์]. Available: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/SVG>.
- [4] Electron contributors, “Quick Start Guide | Electron,” 12 04 2021. [ออนไลน์]. Available: <https://www.electronjs.org/docs/tutorial/quick-start>.
- [5] Vuejs.org contributors, “Introduction — Vue.js,” 21 10 2020. [ออนไลน์]. Available: <https://vuejs.org/v2/guide/>.
- [6] Nodejs.org contributors, “Documentation | Node.js,” 29 04 2021. [ออนไลน์]. Available: <https://nodejs.org/en/docs/>.
- [7] socket.io-website contributors, “Introduction | Socket.IO,” 07 05 2021. [ออนไลน์]. Available: <https://socket.io/docs/v4>.
- [8] J. Kaniewski, “socketio-client-ue4/README.md,” 24 05 2020. [ออนไลน์]. Available: <https://github.com/getnamo/socketio-client-ue4/blob/master/README.md>.
- [9] J. Pahl, Railway operation and control, Vtd Rail Pub, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 44 and cite the document when use.



ภาคผนวก ก

การติดตั้งโปรแกรมพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

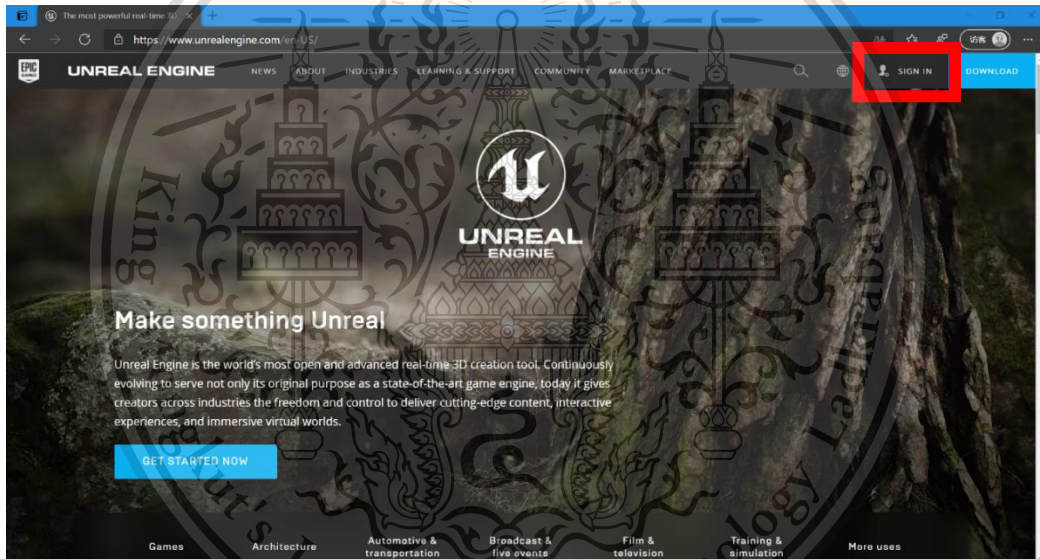
Forbidden to modify the content, 45d cite the document when use.

วิธีสมัครบัญชี Epic Games

บัญชี Epic Games เป็นบัญชีที่ใช้เข้าใช้งานบริการของ Epic Games เช่น เข้าใช้งานเกมที่พัฒนาโดย Epic Games ใช้ซื้อเกมภายใน Epic Games Store หรือใช้เข้าถึงบริการต่าง ๆ ในโปรแกรม Epic Games Launcher เป็นต้น

โดยในที่นี้ บัญชี Epic Games จะใช้เพื่อเข้าใช้งานโปรแกรม Epic Games Launcher เพื่อดาวน์โหลด และติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4

1. ทำการเข้าเว็บไซต์ <https://www.unrealengine.com/> เพื่อสมัครบัญชี Epic Games โดยให้กดที่ปุ่ม SIGN IN ที่มุมขวาบนของหน้าเว็บไซต์ ข้างซ้ายของปุ่ม DOWNLOAD สีฟ้า เพื่อทำการเข้าหน้า Login



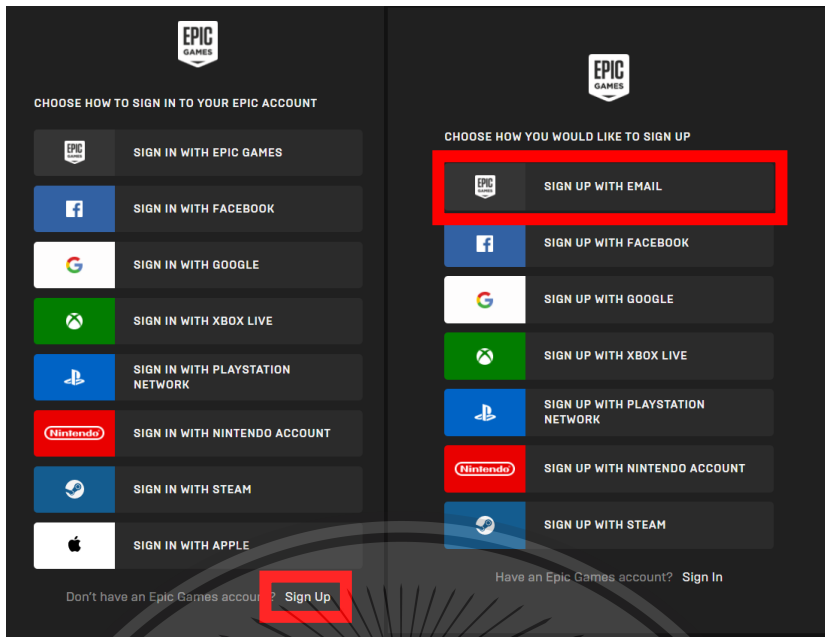
รูปที่ ก.1 หน้าหลัก Unreal Engine

2. เมื่อเข้าหน้า Login แล้วให้เลือก “Sign Up” ตรงตำแหน่งล่างสุด ข้างข้อความ “Don’t have Epic Games account?” เพื่อเข้าสู่หน้าสมัครบัญชี Epic Games แล้วให้เลือกกด “SIGN UP WITH EMAIL” ที่อยู่บนสุดในรายการ เพื่อใช้ Email ในการสมัครบัญชี Epic Games

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 46 cite the document when use.



รูปที่ ก.2 หน้า Login (ซ้าย) และหน้าสมัครบัญชี (ขวา) Epic Games

3. ทำการกรอกข้อมูลเพื่อสมัครบัญชี Epic Games โดย
 - 3.1 ช่องแรกให้เลือกประเทศที่อาศัยอยู่ โดยในที่ระบบได้เลือก “Thailand” (ประเทศไทย) ให้อัตโนมัติ โดยประเทศที่ได้เลือกในขั้นตอนนี้นั้น ถ้ามีความต้องการที่จะเปลี่ยนในภายหลัง จะต้องติดต่อผ่านส่วนบริการลูกค้าของ Epic Games เพื่อทำการเปลี่ยน
 - 3.2 ช่อง First Name และ Last Name ให้ใส่ชื่อและนามสกุลตามลำดับ
 - 3.3 ช่อง Display Name เป็นชื่อใช้แสดงหน้าบัญชี Epic Games โดยชื่อสามารถมีรูปแบบคือ มีความยาว 3-16 ตัวอักษร โดยสามารถเป็นตัวอักษร หรือตัวเลข หรือใช้ ชีด (-), จุด (.), ชีดล่าง (_), เว้นวรรค โดยไม่ติดกัน โดยชื่อต้องไม่ซ้ำกับบัญชีอื่น
 - 3.4 ช่อง Email Address ให้ใส่ข้อมูล Email ที่จะใช้สมัครบัญชี Epic Games โดย Email นี้จะใช้ในการ Login บัญชี Epic Games และใช้รับรหัสสำหรับยืนยัน Email
 - 3.5 ช่อง Password ให้ใส่รหัสผ่านที่จะใช้กับบัญชี Epic Games โดยต้องมีความยาวอย่างน้อย 7 ตัวอักษร มีตัวอักษรอย่างน้อย 1 ตัว มีตัวเลขอย่างน้อย 1 ตัว และไม่มีการเว้นวรรค
 - 3.6 ให้กดที่ “term of service” เพื่อทำการอ่าน และทำความเข้าใจข้อตกลงการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Epic Games ใช้บนเว็บไซต์ของ Epic Games เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

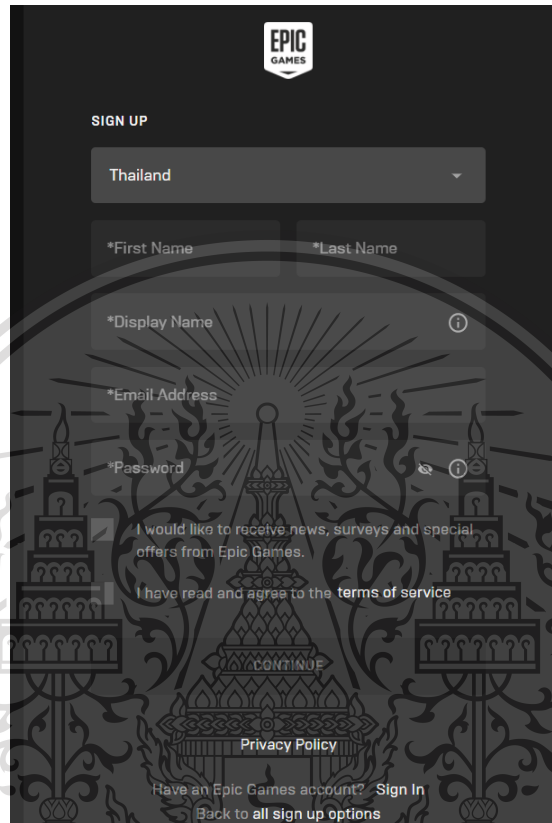
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 47d cite the document when use.

“I have read and agree to terms of service” เพื่อเป็นการยอมรับ

ข้อตกลงการใช้งาน

3.7 กดปุ่ม CONTINUE เพื่อส่งข้อมูลสมัครบัญชี และจะถูกนำเข้าสู่หน้ายืนยัน Email



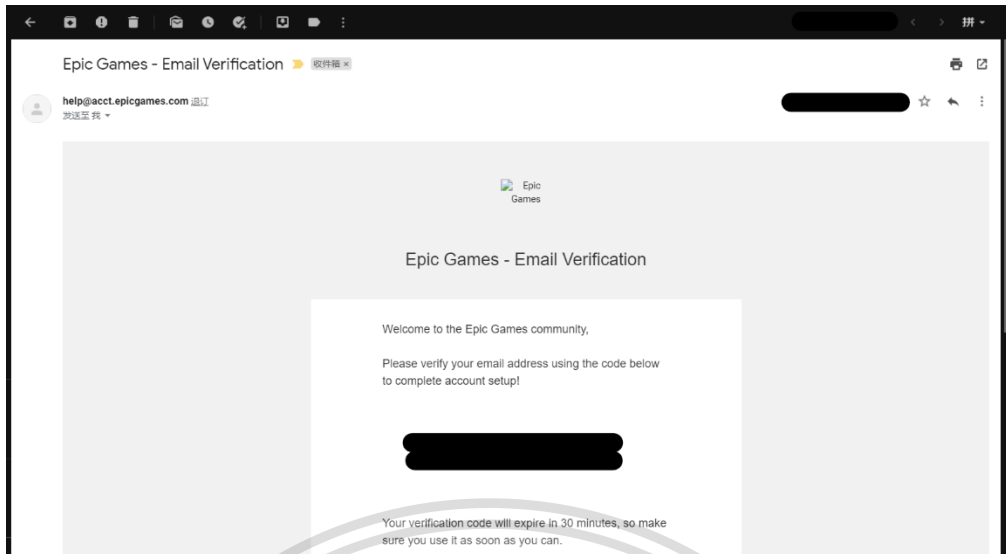
รูปที่ ก.3 หน้ากรอกข้อมูลสมัครบัญชี Epic Games

- เมื่อได้รับรหัสตัวเลข 6 ตัวที่ส่งผ่าน Email ที่ใช้สมัครบัญชี Epic Games จาก help@acct.epicgames.com แล้ว ให้นำรหัสตัวเลข 6 ตัวนั้นไปกรอกในหน้ายืนยัน Email แล้วกด VERIFY EMAIL เพื่อเป็นการยืนยัน Email

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 48 and cite the document when use.



รูปที่ ก.4 Email เพื่อส่งรหัสยืนยัน Email จาก help@acct.epicgames.com

วิธีติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 ผ่าน Epic Games Launcher

โปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างและพัฒนาเกมและผลงานโดยใช้ Unreal Engine เป็นพื้นฐาน ซึ่งได้พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Epic Games ซึ่งสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ เช่น ดาวน์โหลดจาก GitHub ของ Epic Games แล้วมาติดตั้งเอง หรือดาวน์โหลดและติดตั้งโดยตรงภายในโปรแกรม Epic Games Launcher

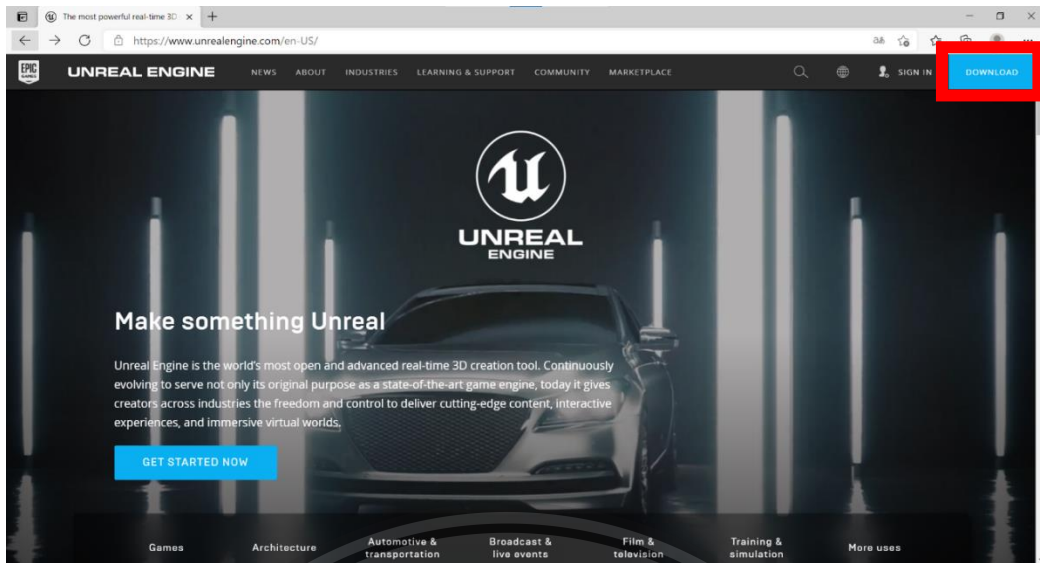
โดยในที่นี้จะใช้วิธีดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 ผ่าน Epic Games Launcher เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการติดตั้งและอัปเดตโปรแกรมในภายหลังมากกว่า

1. ทำการเข้าเว็บไซต์ <https://www.unrealengine.com/> เพื่อทำการดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรม Epic Games Launcher โดยให้กดที่ปุ่ม DOWNLOAD สีฟ้า เพื่อทำการเข้าสู่หน้าดาวน์โหลดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

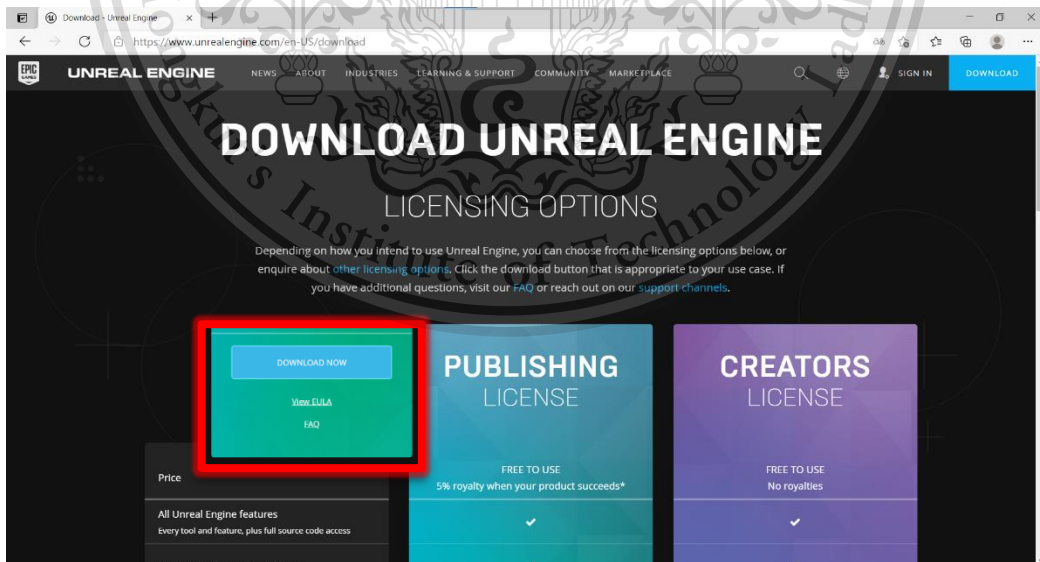
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 49 and cite the document when use.



รูปที่ ก.5 หน้าหลัก Unreal Engine

- เมื่อเข้าถึงหน้าดาวน์โหลดโปรแกรมแล้ว จะมีให้เลือกระหว่าง Publishing License กับ Creators License พร้อมตารางเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 License นี้ โดยในที่นี้จะใช้ Publishing License ให้เลื่อนลงมาล่างสุด แล้วกดปุ่ม DOWNLOAD NOW ในแถบ Publishing License เพื่อดาวน์โหลดตัวติดตั้ง



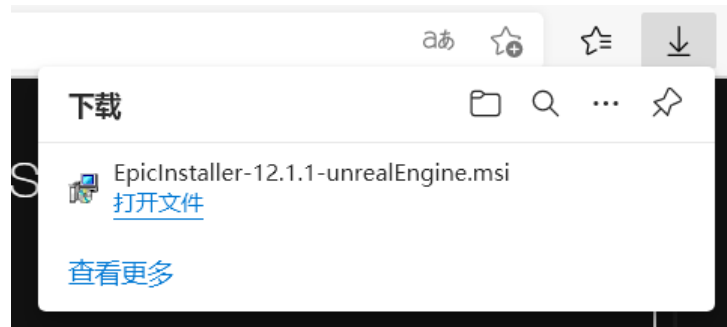
รูปที่ ก.6 หน้าเลือกดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรม แยกตาม License

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

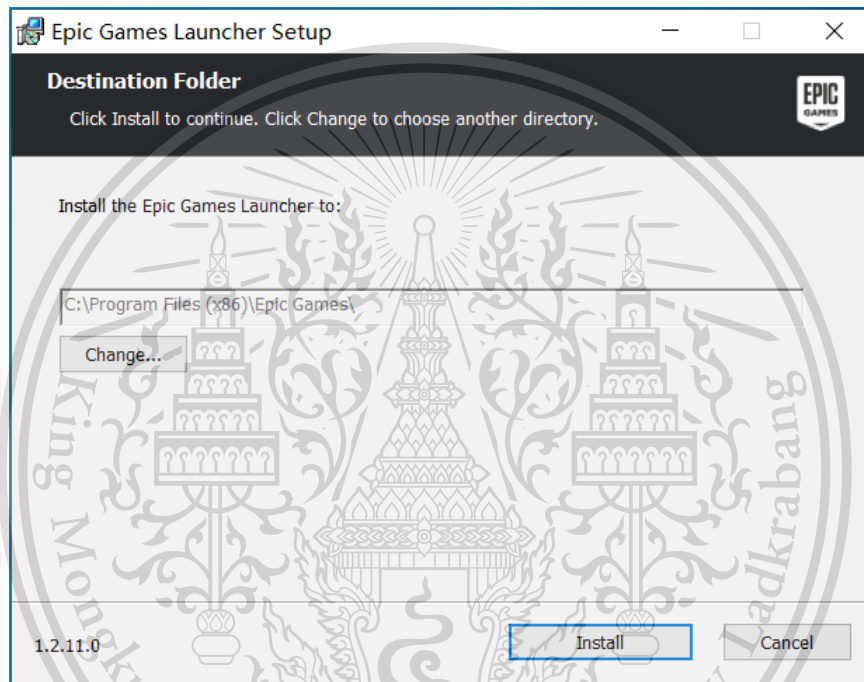
- เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรมติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเปิดโปรแกรมติดตั้ง เพื่อไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 50% cite the document when use.



รูปที่ ก.7 ตัวโปรแกรมติดตั้งที่ดาวน์โหลดเรียบร้อยแล้ว

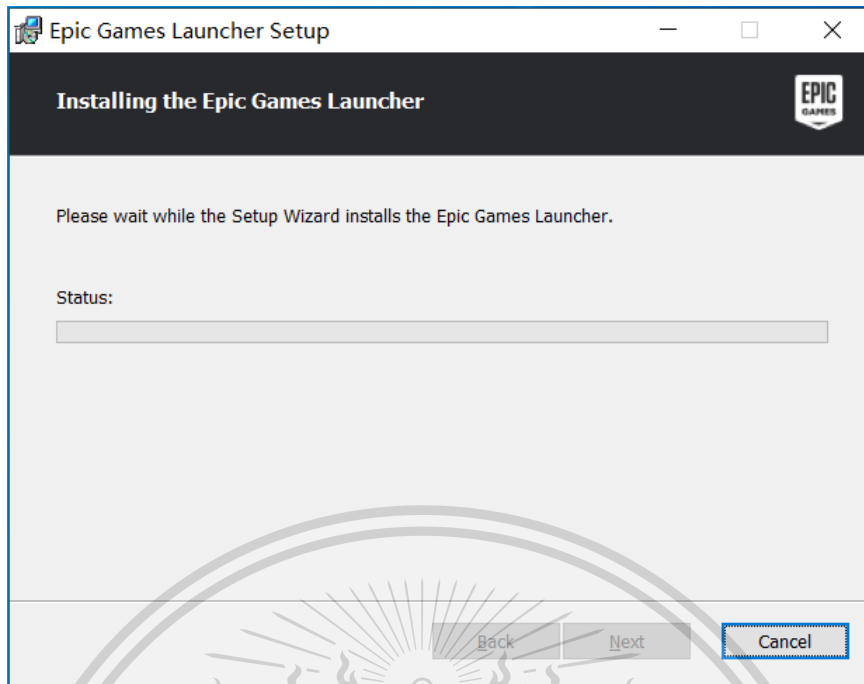


รูปที่ ก.8 หน้าเริ่มต้นโปรแกรมติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

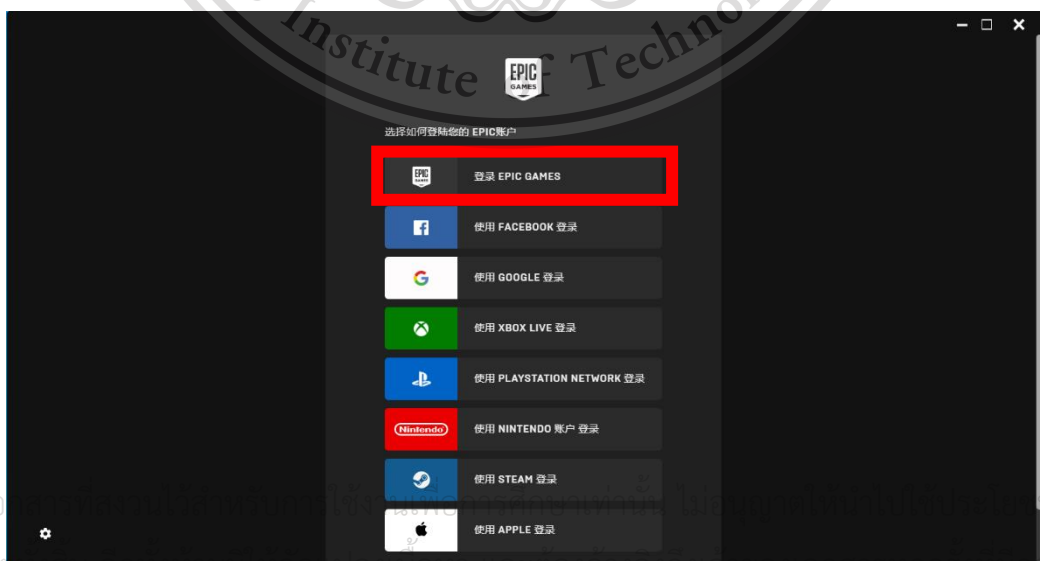
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 51d cite the document when use.



รูปที่ ก.9 หน้ากำลังติดตั้งโปรแกรม

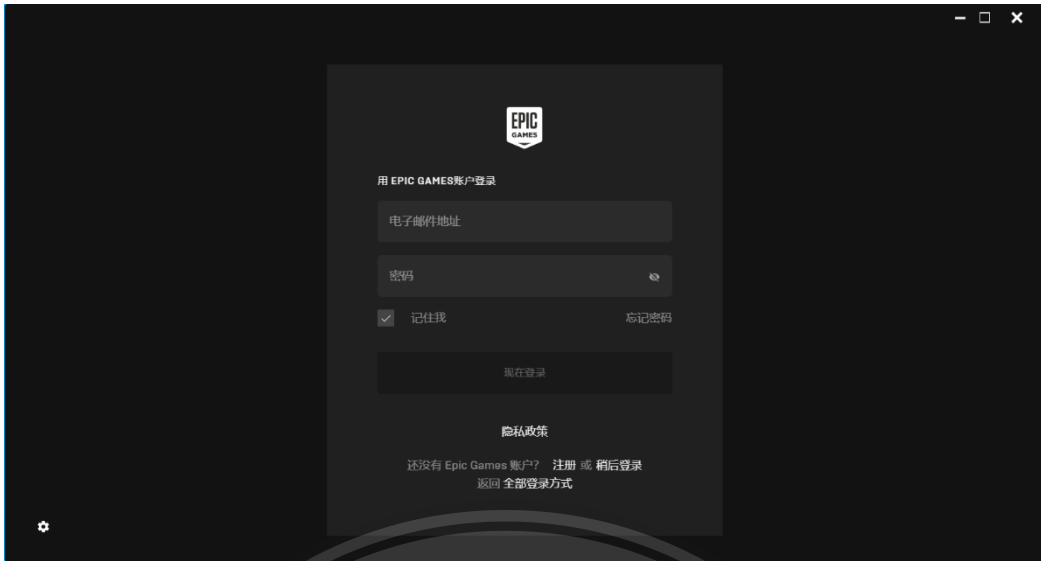
4. เมื่อการติดตั้งได้เสร็จสิ้นแล้ว หน้า Login บัญชี Epic Games ของโปรแกรม Epic Games Launcher โดยในที่นี้จะเลือก Login ผ่านบัญชี Epic Games ซึ่งเป็นตัวเลือกแรก เมื่อกดเลือกตัวเลือกนั้นลงไปแล้ว จะถูกนำไปสู่หน้า Login ของบัญชี Epic Games โดยช่องแรกให้ใส่ Email ที่ใช้สมัครบัญชี Epic Games และช่องต่อมาให้ใส่รหัสผ่านที่ใช้กับบัญชี Epic Games เดียวกัน แล้วกดปุ่ม LOGIN เพื่อทำการ Login เข้า Epic Games Launcher



รูปที่ ก.10 หน้าเลือกตัวเลือก Login เข้า Epic Games Launcher

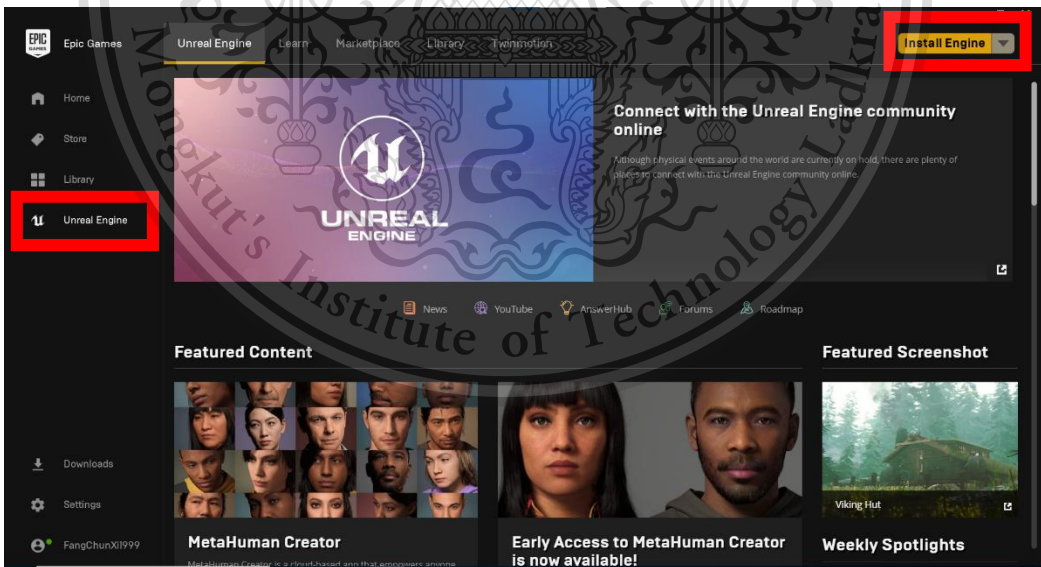
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 52 and cite the document when use.



รูปที่ ก.11 หน้า Login บัญชี Epic Games โดยใช้ Email

- เมื่อเข้าสู่หน้าหลักของ Epic Games Launcher แล้ว ให้กดที่แท็บ Unreal Engine ฝั่งซ้ายมือ แล้วกดปุ่ม Install Engine สีเหลืองด้านขวาบน เพื่อเข้าหน้าติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine



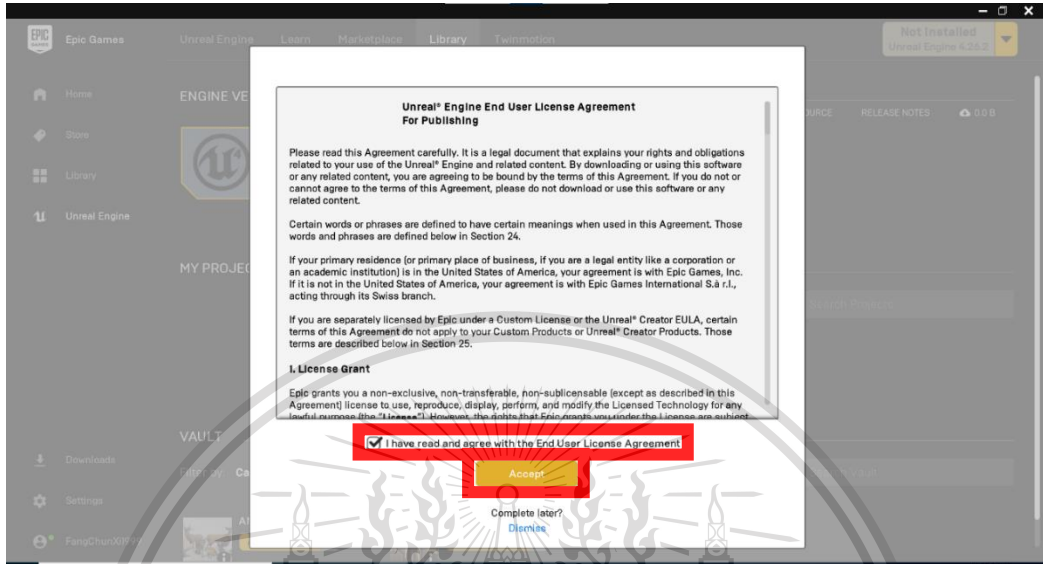
รูปที่ ก.12 หน้าหลัก Unreal Engine ใน Epic Game Launcher

- เมื่อให้ตอบตกลง End User License Agreement ของ Unreal Engine ให้ทำการอ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตใหม่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และทำความเข้าใจ EULA นี้ และเมื่ออ่านแล้ว และยอมรับ EULA นี้ ให้กดที่กล่องหน้า “I agree” ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

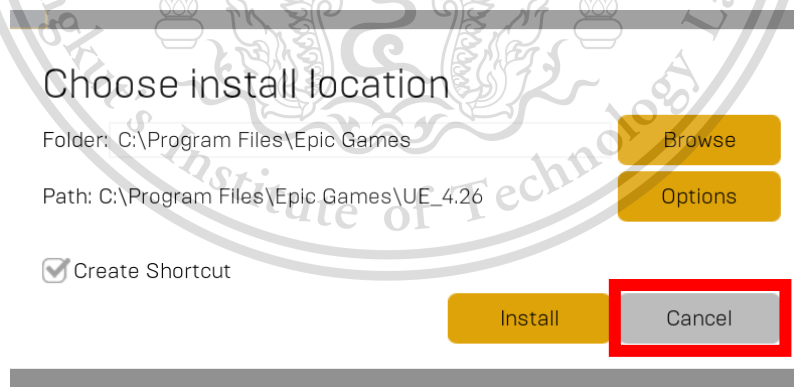
Forbidden to modify the content, 53 and cite the document when use.

have read agree with the End User License Agreement” เพื่อเป็นการยอมรับและตกลง EULA แล้วกดปุ่ม Accept สีเหลือง



รูปที่ ก.13 หน้ายอมรับ End User License Agreement ของ Unreal Engine

7. แล้วที่หน้าเลือกตำแหน่งการติดตั้ง Unreal Engine 4 เวอร์ชันล่าสุด ให้กดปุ่ม Cancel สีเทา เนื่องจากในทีนี้จะทำการติดตั้ง Unreal Engine 4 เวอร์ชัน 4.19



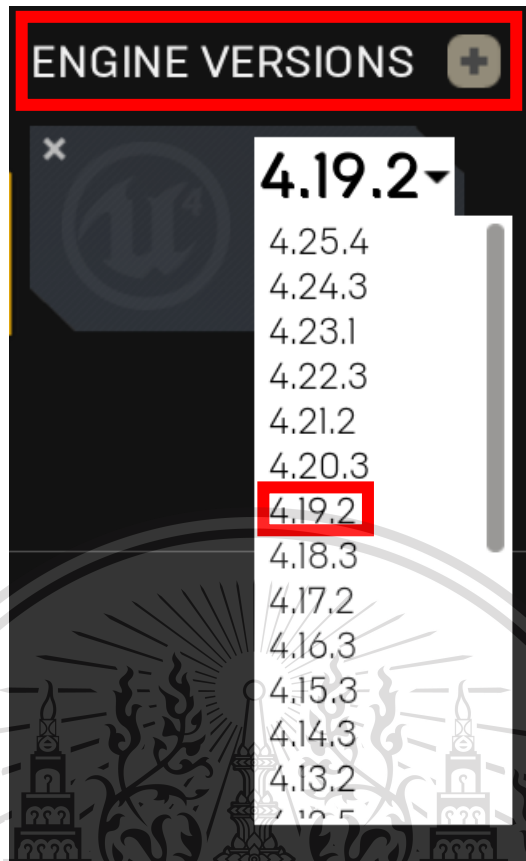
รูปที่ ก.14 หน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรม Unreal Engine 4 เวอร์ชันล่าสุด

8. ให้กดที่ปุ่มบวข่างขวา ENGINE VERSIONS เพื่อเพิ่มการติดตั้ง Unreal Engine เวอร์ชันที่

ต้องการตัวใหม่ แล้วให้กดที่ลูกศรชี้ลงข้างตัวเลขเวอร์ชันของ Unreal Engine (4.XX) เพื่อแสดงรายการเวอร์ชันที่สามารถเลือกได้ ในทีนี้ให้เลือกเวอร์ชัน 4.19

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 54d cite the document when use.



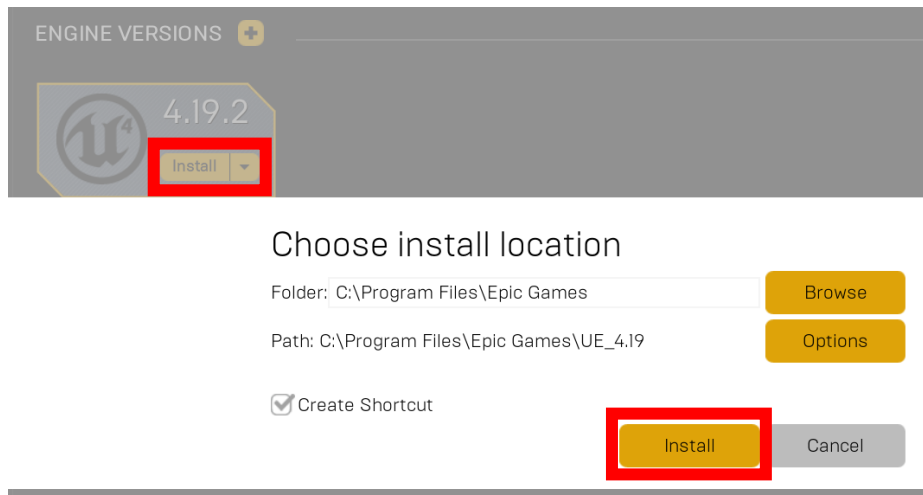
รูปที่ ก.15 หน้าเลือกเวอร์ชัน Unreal Engine ที่ต้องการติดตั้ง

9. ให้กดที่ปุ่ม Install สีเหลืองบนการ์ดเวอร์ชัน Unreal Engine 4.19 แล้วหน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรมจะแสดงขึ้นมา ให้กดที่ปุ่ม Install สีเหลืองบนหน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรม เพื่อเริ่มดำเนินการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 โดยโปรแกรม Epic Games Launcher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 55 and cite the document when use.



รูปที่ ก.16 หน้าเลือกตำแหน่งติดตั้งโปรแกรม Unreal Engine 4 เวอร์ชัน 4.19

10. รอโปรแกรม Epic Games Launcher ดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 ให้สำเร็จ โดยสามารถดูความคืบหน้าการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมได้บนการ์ด Unreal Engine หรือในแท็บ Download ฝั่งซ้ายด้านล่างได้

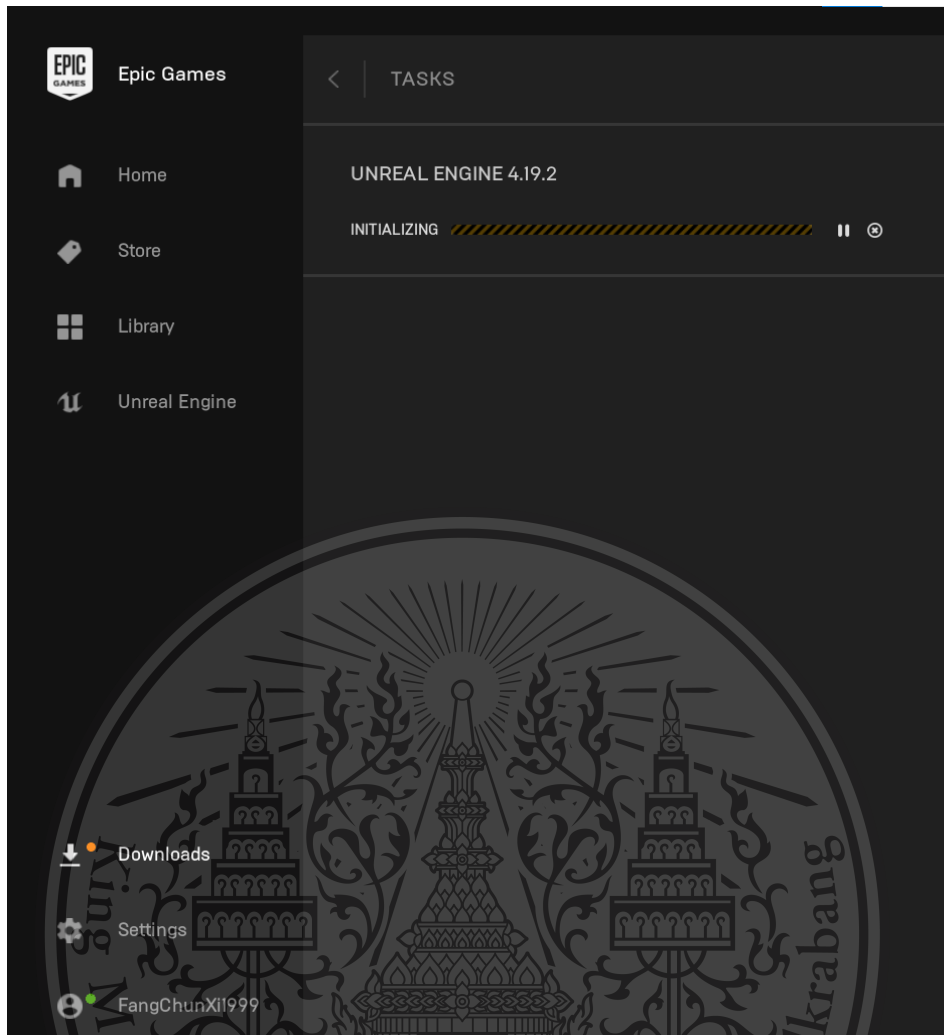


รูปที่ ก.17 การแสดงผลความคืบหน้าการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมบนการ์ดเวอร์ชัน Unreal Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 56d cite the document when use.



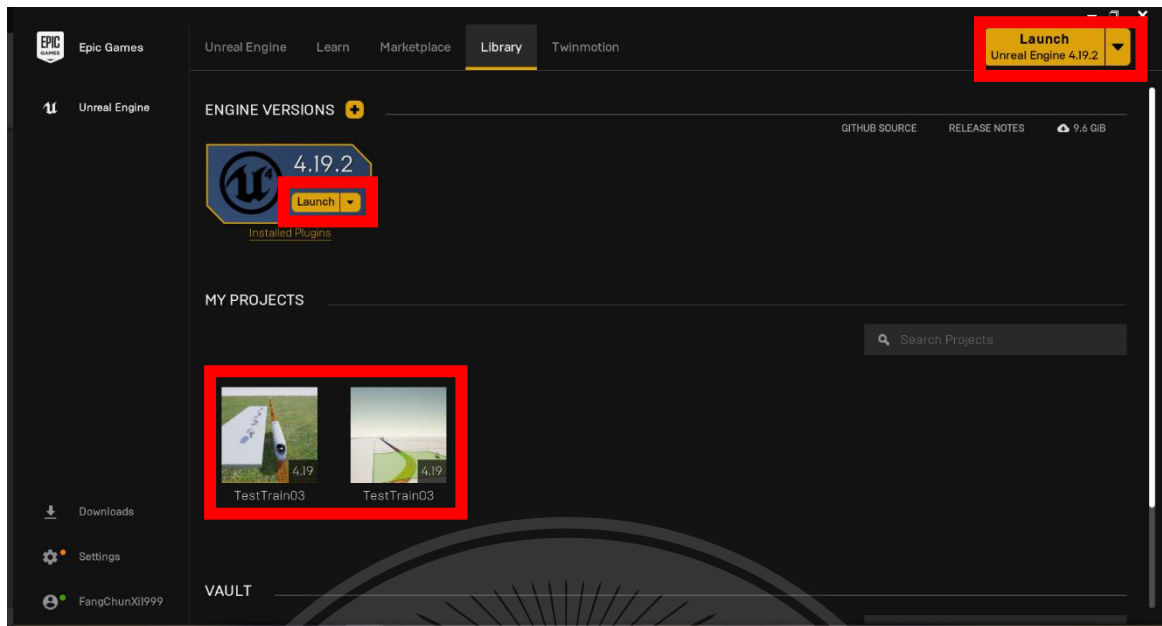
รูปที่ ก.18 การแสดงผลความคืบหน้าการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมในแท็บ Download

11. เมื่อการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4 เสร็จสิ้นแล้ว การเปิดโปรแกรมสามารถทำได้จากการกดปุ่ม Launch สีเหลืองที่มุมบนขวาของโปรแกรม Epic Games Launcher หรือปุ่ม Launch สีเหลืองบนการ์ดเวอร์ชัน Unreal Engine หรือทำการเปิดโปรเจค Unreal Engine โดยตรงในส่วน MY PROJECT ถ้าเคยเปิดโปรเจคมาก่อนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 57d cite the document when use.



รูปที่ ก.19 หน้าหลักเพื่อทำการเปิดโปรแกรมพัฒนา Unreal Engine 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, 58 and cite the document when use.