

รายงานฉบับสมบูรณ์
การประกวดโครงงานของนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ระบบป้อนกลับซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการควบคุมชีพจรในโปรแกรมนำออกกำลังกายด้วยแอนิเมชัน
(ภาษาอังกฤษ) A Feedback System with Neural Network Controller for Heart-Rate-Controlled Animated Exercise Trainer

สาขาที่เข้าประกวด วิทยาการคอมพิวเตอร์

ทีมพัฒนา

หัวหน้าทีม

ชื่อ-นามสกุล น.ส. ชูตารีย์ ตันประเสริฐ
วัน/เดือน/ปีเกิด 24 ตุลาคม 2539 ระดับการศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถานศึกษา English Program โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
ที่อยู่ตามทะเบียนบ้าน 633/7 หมู่ที่ 1 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร
สถานที่ติดต่อ เลขที่132/11 ถ.พระราม6 แขวงสามเสนใน เขตเขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 023741412มือถือ 0943281991โทรสาร – e-mail youngcup4th2008@gmail.com

1) ผู้พัฒนาโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล ด.ญ. ธีราพร ตันประเสริฐ
วัน/เดือน/ปีเกิด 3 มิถุนายน 2542 ระดับการศึกษา มัธยมศึกษาตอนต้น
สถานศึกษา English Program โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
ที่อยู่ตามทะเบียนบ้าน 633/7 หมู่ที่ 1 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร
สถานที่ติดต่อ เลขที่132/11 ถ.พระราม6 แขวงสามเสนใน เขตเขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 023741412 มือถือ 0896765265 โทรสาร – e-mail teerapaun.tanprasert@gmail.com

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชื่อ-นามสกุล น.ส. จิตสุภัค ตันติเกษตรกิจ	ผศ. ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ
สังกัด/สถาบัน โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย	ภาควิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
สถานที่ติดต่อ เลขที่132/11 ถ.พระราม6 แขวงสามเสนใน เขตเขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400	
โทรศัพท์ 023571141-2	

หัวหน้าสถาบัน (ผู้อำนวยการ/อาจารย์ใหญ่/หัวหน้าหมวด)

ชื่อ-นามสกุล นาง สุภาวี พัฒน์จรรย์
สังกัด/สถาบัน โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
สถานที่ติดต่อ เลขที่132/11 ถ.พระราม6 แขวงสามเสนใน เขตเขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 023571141-2

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	3
วัตถุประสงค์ประสงค์โดยละเอียด	3
ขั้นตอนการพัฒนาโครงการ	4
กระบวนการทดลอง	25
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	27
สรุปผล	36
กิตติกรรมประกาศ	37
บรรณานุกรม	37

บทคัดย่อ

ในการออกกำลังกาย ชีพจรสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายได้ เนื่องจากชีพจรมีความสัมพันธ์กับระดับ VO_2 ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานที่เผาผลาญได้ในการทำกิจกรรมหนึ่งๆ ดังนั้น การตั้งเป้าหมายของการออกกำลังกายจึงสามารถทำในรูปแบบของการตั้งเป้าหมายชีพจรในระหว่างการออกกำลังกายได้ อย่างไรก็ตาม ชีพจรนั้นมีการเปลี่ยนแปลงแบบ Nonlinear ทำให้การควบคุมชีพจรโดยผู้ออกกำลังกายนั้นเป็นไปได้ยาก และหากชีพจรนั้นมากกว่าระดับที่ปลอดภัยก็อาจเป็นอันตรายได้ ผู้พัฒนาจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบ Feedback Control เพื่อช่วยในการควบคุมชีพจรระหว่างออกกำลังกาย ซึ่งรับแผนการออกกำลังกายจากผู้ใช้นำมาออกแบบและปรับการออกกำลังกาย โดยแสดงผลเป็นภาพแอนิเมชันสามมิติ ระบบ Feedback Control นั้นจำเป็นต้องคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า เพื่อที่จะทำการแก้ไขชีพจรได้ทัน ผู้พัฒนาได้พัฒนา Neural Network Heart Rate Predictive Model ขึ้นมาเพื่อทำการคาดการณ์ชีพจร แบบจำลองดังกล่าวจะได้รับข้อมูลชีพจรจาก Heart Rate Sensor ด้วย Bluetooth Protocol ในอัตราวินาทีละ 1 ครั้ง จากการทดลอง ผู้พัฒนาได้ทำพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่จะเกิดขึ้น โดยเลือกใช้แบบจำลองที่มีคุณสมบัติคือ รับข้อมูลค่าความแตกต่างของชีพจรที่วินาทีติดกันย้อนหลังเป็นเวลา 7 วินาที นับเป็นความแตกต่างของชีพจร 6 ค่าและค่าความเข้มข้นของการออกกำลังกายในวินาทีนั้นๆ อีก 1 ค่า ข้อมูลดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบที่มี Hidden Neuron 8 ตัว นอกจากนี้ ในการคาดการณ์ชีพจรปัจจุบัน ระบบจะหาค่าโดยการรวมค่าความเปลี่ยนแปลงที่ได้ทำการคาดการณ์กับชีพจรจริงจากเวลาก่อนหน้านั้น ซึ่งด้วยแบบจำลองนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการคาดการณ์ชีพจรปัจจุบันนั้นมีค่าเท่ากับ 0.376808 bpm และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการคาดการณ์ชีพจร 10 วินาทีถัดไปมีค่าเท่ากับ 2.787897843 bpm ซึ่งเป็นความแม่นยำที่ยอมรับได้ และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ออกกำลังกาย ในส่วนของการปรับแก้ Weight ในแบบจำลองนั้น มี Learning Rate = 0.01 และให้ทำซ้ำ 100 รอบต่อข้อมูลชีพจร 1 ค่าที่นำเข้าสู่ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ผู้พัฒนาได้ออกแบบเพื่อช่วยในการสร้าง Adaptive Controller คือแบบจำลองความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อความเข้มข้นของการออกกำลังกายหนึ่งๆ ซึ่งแบบจำลองนี้มีลักษณะเป็น self-organizing map ซึ่งทำการ Update ค่าความชันดังกล่าวด้วย Exponential average ที่มี Learning Rate = 0.5 Adaptive Controller จะใช้ชีพจรที่ได้จากการคาดการณ์ล่วงหน้าเป็นเวลา 10 วินาทีและแบบจำลองความชันของการเปลี่ยนแปลงของชีพจรในการปรับแก้ท่าออกกำลังกายเพื่อให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพิ่มหรือลดชีพจรให้อยู่ในช่วงชีพจรที่ต้องการ โดยหลังจากประมวลผลเสร็จแล้ว Controller จะส่งข้อมูลการออกกำลังกายไปให้โปรแกรมส่วนแสดงผลภาพแอนิเมชันด้วยการรับส่งข้อมูลแบบ Client-Server Socket หลังจากพัฒนาระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้พัฒนาจึงได้ทดลองประสิทธิภาพของระบบ โดยให้ผู้ทดลองทำการออกกำลังกาย 3 รูปแบบคือ High-Intensity Interval Training, Interval Training, และ Cardio Training (Aerobic) และสังเกตการทำงานของโปรแกรม ผลปรากฏว่า จากการสังเกตการทำงานของโปรแกรมในสถานการณ์ต่างๆ 3 สถานการณ์คือ เมื่อคาดว่าชีพจรลงต่ำกว่าช่วงชีพจรเป้าหมายใน Rest Interval เมื่อชีพจรเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ช่วงชีพจรเป้าหมาย และเมื่อคาดว่าชีพจรจะเพิ่มขึ้นกว่าช่วงชีพจรเป้าหมายใน Active Interval พบว่า โปรแกรมทำการปรับการออกกำลังกายเพื่อคุมชีพจรให้อยู่ในช่วงชีพจรได้เป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ เมื่อเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับข้อมูลชีพจรในกรณีที่ผู้ออกกำลังกายพยายามควบคุมชีพจรเองโดยไม่มีโปรแกรมนำออกกำลังกาย พบว่าโปรแกรมทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในการออกกำลังกายแบบ Interval Training และ Cardio Training สรุปได้ว่า Neural Network Predictive Model ที่พัฒนาสามารถคาดการณ์ชีพจรได้อย่างแม่นยำ และระบบ Feedback Control ที่ใช้ข้อมูลการคาดการณ์ชีพจรจาก Neural Network Heart Rate Predictive Model ในการปรับแก้ท่าออกกำลังกายและระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย สามารถควบคุมชีพจรของผู้ออกกำลังกายให้อยู่ในช่วงชีพจรเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้ใช้สามารถออกกำลังกายได้ตามเป้าหมายที่ต้องการและมีความปลอดภัยในการออกกำลังกาย

วัตถุประสงค์โดยละเอียด

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างออกกำลังกายที่ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ในการออกกำลังกายให้มากขึ้น
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมรูปแบบใหม่ซึ่งมีประสิทธิภาพและแม่นยำขึ้น

3. เพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการออกกำลังกายให้ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ
4. เพื่อลดความเสี่ยงที่อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ใช้จะสูงเกินเป้าหมายและเป็นอันตรายในการออกกำลังกาย
5. เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายของผู้ใช้ในการเลือกการออกกำลังกายให้ได้อย่างเหมาะสม
6. เพื่อสนับสนุนให้เกิดการออกกำลังกายที่เหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งจะทำให้การออกกำลังกายมีประสิทธิภาพและส่งผลดีต่อร่างกายผู้ใช่มากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการพัฒนาโครงการ

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการออกกำลังกายประเภทต่างๆ และความสัมพันธ์ของชีพจรกับการออกกำลังกาย

ระดับ Intensity หรือความเข้มข้นของการออกกำลังกายนั้น สามารถวัดได้จากหลายอย่าง ชีพจร ก็เป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงความหนักหน่วงของการออกกำลังกาย เพราะเป็นสิ่งที่แสดงถึง load ของกิจกรรมที่มีต่อระบบไหลเวียนเลือด ตัวแปรอีกอย่างชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายได้เช่นกันคือการวัดระดับ VO_2 หรือความเข้มข้นของการนำเข้าออกซิเจนในร่างกาย ซึ่งระดับการออกกำลังกายแบบเข้มข้นที่สุด (Maximum Intensity) สามารถแทนได้ด้วย VO_{2Max} (Maximal Oxygen Consumption) [9][10]

Heart Rate Reserve และ VO_2 Reserve นั้นมีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นเชิงเส้น และ VO_2 สามารถวัดได้เป็น METs (Metabolic Equivalent of Task) [10] ซึ่งเป็นการวัดค่าของการทำกิจกรรมหนึ่งๆ เป็นพลังงานที่เสียไปในการทำกิจกรรมนั้นๆ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ระดับของ Heart Rate Reserve นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานที่เผาผลาญได้ในการออกกำลังกายด้วยความเข้มข้นและช่วงเวลานั้นๆ [4]

รูปแบบการออกกำลังกายนั้นมีได้หลายแบบ ตามเป้าหมายชีพจรที่ต้องการและระยะเวลาในการคงระดับชีพจรนั้นๆ เช่น การออกกำลังกายแบบแอโรบิก คือการคงชีพจรให้อยู่ใน Aerobic Zone คือช่วง 60.-70% เป็นเวลานานอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ แต่หากเป็นการออกกำลังกายแบบ Interval Training นั้น จะเป็นการเร่งชีพจรให้ขึ้นไปอยู่ในระดับที่สูงกว่า Aerobic Zone แต่จะออกกำลังกายเป็นช่วงสั้นๆ สลับกับการพัก เช่น อาจจะออกกำลังกายให้ชีพจรอยู่ในระดับ 80-90% เป็นเวลา 30 วินาทีสลับกับการพัก 30 วินาที เพื่อให้ชีพจรนั้นลดกลับมาและพร้อมสำหรับการเร่งชีพจรในการทำ Interval เดิมซ้ำในรอบถัดไป

การออกกำลังกายที่ส่งผลต่อชีพจรต่างกัน ก็จะทำให้ผลต่างกันต่อร่างกายของผู้ที่ออกกำลังกาย ทั้งในด้านการเผาผลาญไขมัน การเพิ่มของ Endurance ในกล้ามเนื้อ ทั้งนี้เพราะร่างกายมีการใช้กล้ามเนื้อคนละชุดสำหรับการทำกิจกรรมคนละแบบ [2]

ในโครงการนี้ ผู้พัฒนามุ่งให้โปรแกรมสามารถทำงานได้สำหรับการออกกำลังกายทุกรูปแบบ ตามที่ผู้ใช้สามารถ Customize ได้ตามความต้องการ โดยโปรแกรมจะพยายามออกแบบท่าออกกำลังกายและระดับความ

เข้มข้นในการออกกำลังกายเพื่อให้ผู้ใช้มีชีพจรสอดคล้องกับรูปแบบที่ต้องการและยังส่งผลให้สามารถเผาผลาญพลังงานได้อย่างที่ต้องการอีกด้วย

2. ศึกษาค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัดชีพจร การรับข้อมูลจากเครื่องมือวัดชีพจร และจัดหา Heart Rate Sensor ที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับโปรแกรมได้

เครื่องมือที่ผู้พัฒนาเลือกใช้ในการวัดชีพจรคือ Zephyr HxM Bluetooth Wireless Heart Rate Sensor เพราะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งข้อมูลชีพจรได้วินาทีละ 1 ครั้ง และส่งข้อมูลได้เลยโดยไม่ต้องหยุดรอให้อุปกรณ์ประมวลผลก่อน

นอกจากนี้ ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ Bluetooth Protocol ในการส่งข้อมูลชีพจร และยังมี API ตัวอย่างที่มากับอุปกรณ์ในการ decode สัญญาณ Bluetooth ด้วยภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาเดียวกันกับที่ใช้ในการโปรแกรม 3D Animation ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมทั้งหมดได้ในภาษาเดียวกัน รวมโปรแกรมส่วนที่รับค่าชีพจรเข้ากับโปรแกรมส่วนอื่นๆ ได้

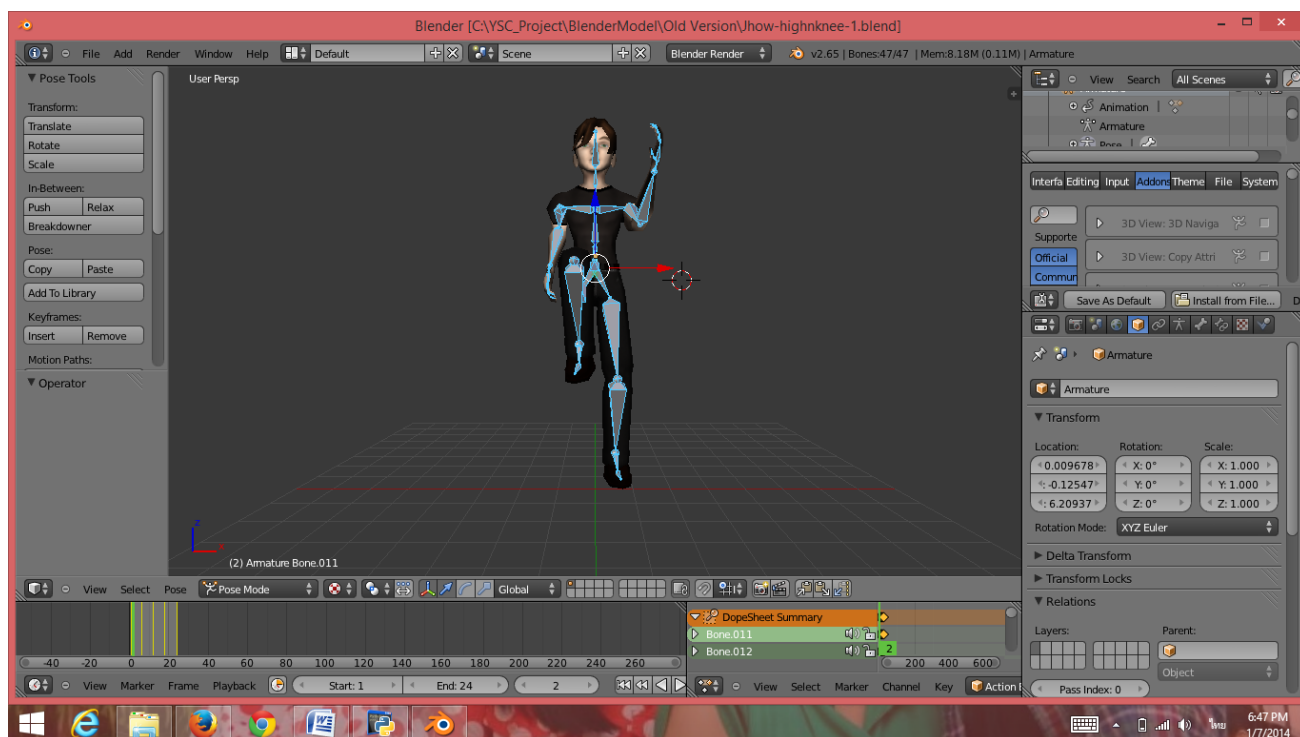


3. ศึกษาเครื่องมือและวิธีการทำ 3D Animation สำหรับการแสดง Output ของโปรแกรม

หลังจากประมวลผลแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลออกมาเพื่อควบคุมการออกกำลังกายของผู้ใช้ด้วยภาพ 3D Animation เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมจะสามารถมองภาพได้จากทุกทิศทาง และปฏิบัติตามได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยขั้นตอนการสร้างและควบคุม 3D Animation นั้นมีดังต่อไปนี้

1. หาโมเดลสามมิติที่จะนำมาใช้เป็น Character และศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการ Animate โมเดล

ผู้พัฒนาได้ศึกษา Freeware ที่สามารถทำการ Animate 3D model ได้ และเลือกใช้ Blender Version 2.65 ในการสร้าง Animation สำหรับตัวโมเดลสามมิติที่ใช้นั้นก็เป็น Free Model



ภาพตัวอย่างการสร้าง 3D Animation ด้วยโปรแกรม Blender 2.65

2. Animate โมเดลในท่าออกกำลังกายและระดับความเข้มข้นต่างๆ และ Export ออกมาเป็นไฟล์ .egg

ผู้พัฒนาได้เลือกทำ Animation สำหรับท่าออกกำลังกายจำนวน 7 ท่าแบ่งเป็นท่าประเภท low intensity 2 ท่าคือ jogging และ jumping jack ท่าประเภท High Intensity 5 ท่าคือ high knees, mountain climber, squat jumps, jumping lunges และ burpee

สำหรับท่าออกกำลังกายแต่ละท่านั้น จะต้องมียกระดับความเข้มข้นในการทำท่านั้นๆ ด้วย โดยบางท่านั้นสามารถเปลี่ยนระดับความเข้มข้นได้โดยการเปลี่ยนความเร็วในการเล่นแอนิเมชัน (ในหน่วย frame/second) ได้ เช่นท่า high knees และ mountain climber ส่วนท่านอื่นๆ นั้น การเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายจำเป็นต้องใช้การเปลี่ยนแอนิเมชัน เพราะต้องมีการเปลี่ยนแปลงส่วนอื่นๆ ของการออกกำลังกายเช่น ปรับช่องว่างในการหยุดพักระหว่างการท่าท่าแต่ละรอบ เปลี่ยนการกระโดดให้สูงขึ้นในบางท่า หรือในกรณีของท่า jumping lunges นั้น สำหรับระดับความเข้มข้นต่ำ จะลดลงมาเหลือเป็นท่า lunging เท่านั้น โดยไม่มีการกระโดด โดยเมื่อรวมกับแอนิเมชันท่าพัก (มีการขยับตัวเล็กน้อยเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติตาม) แล้ว มีการแอนิเมชันทั้งสิ้น 18 ไฟล์

เพื่อนำไฟล์แอนิเมชันที่ได้มาควบคุมตาม Output จากการประมวลผลของโปรแกรม จึงต้องทำการ export แอนิเมชันมาใช้กับ game engine ที่เลือกใช้คือ Panda 3D Game Engine ซึ่งรองรับไฟล์ใน format .egg โดยในการ export นั้นต้องแยกไฟล์เป็นสองไฟล์ คือไฟล์ Model และไฟล์ Animation ซึ่งผู้พัฒนาได้ใช้ Yabee exporter รุ่น 12.2 for Blender 2.65 ในการ export animation ทั้งหมด

3. ศึกษา Panda 3D Game Engine และเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม Animation

ผู้พัฒนาได้เลือกใช้ Panda 3D ซึ่งเป็น Open Source สำหรับการทำให้ 3D Rendering และ Game Development บนการโปรแกรมภาษา Python ซึ่งตรงกับ API ตัวอย่างจากเครื่องมือวัดชีพจรที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยการเล่นไฟล์แอนิเมชันใน Panda 3D นั้น เป็นการโปรแกรมด้วยภาษา Python อยู่ในรูปแบบของ Class ที่เรียกว่า Showbase

ใน Showbase นี้ จะมีการโหลด Actor ซึ่งก็คือไฟล์ model ที่ได้ export มาจาก blender ในขั้นตอนที่แล้ว เพราะแอนิเมชันทั้งหมดนั้นทำโดย model ตัวเดียวกัน จึงทำการโหลดแอนิเมชันทั้งหมดใน Actor ตัวเดียว ส่วนไฟล์ซึ่งเป็นฉากหรือ environ นั้น เป็นไฟล์ที่เป็นตัวอย่างมากับแพ็คเกจของ Panda 3D อยู่แล้ว และต้องทำการโหลดก่อนเริ่มการทำงานเช่นกัน ทั้ง Actor และ environ จะต้องได้รับการตั้งค่าขนาดและตำแหน่งบนหน้าจอ เพื่อให้มีขนาดที่สัมพันธ์กันและมีตำแหน่งกลางจอ

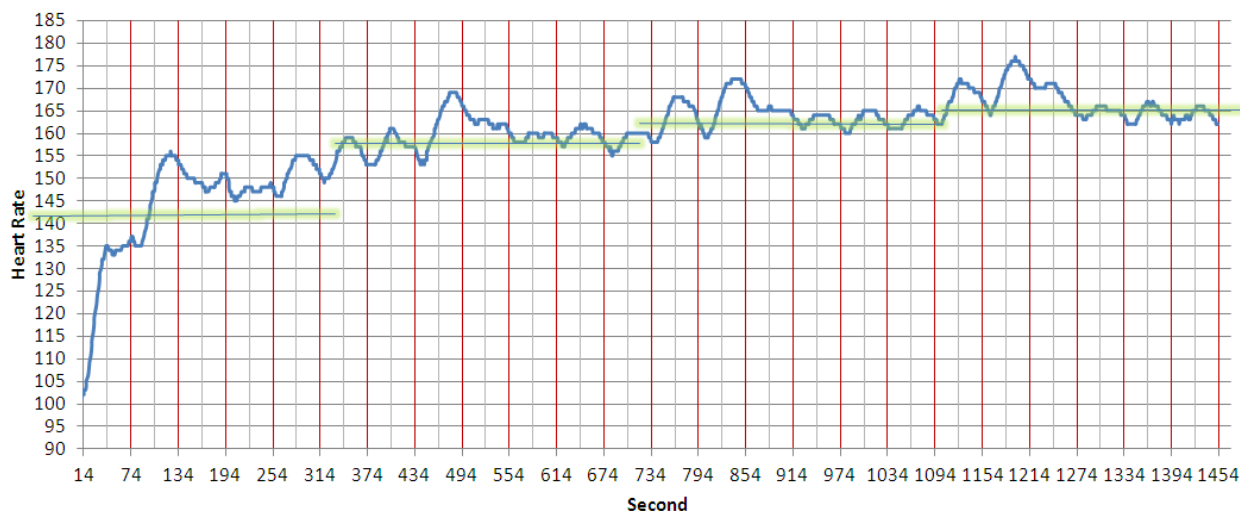
ก่อนเริ่มการเล่นแอนิเมชัน showbase จะต้องถูก Render ตั้งตำแหน่งของแสง ตำแหน่งของ Camera และมุมของกล้อง (Hpr) นอกจากนี้ แอนิเมชันทั้งหมดจะถูกตั้ง Play Rate (Play Rate 1 มีค่าเท่ากับ 24 Frames/Second) เพื่อให้การแสดงผลนั้นเป็นไปได้อย่างถูกต้อง

สำหรับการเปลี่ยนท่าออกกำลังกายและระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายนั้น ทำได้โดยการเปลี่ยนแอนิเมชัน หรือการเปลี่ยน Play Rate โดยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลนั้นจะได้รับมาจากโปรแกรมส่วน Feedback Control ผ่าน Socket ซึ่งใน Showbase นั้นมี function ที่ทำหน้าที่เป็น Server thread ในการรับข้อมูล

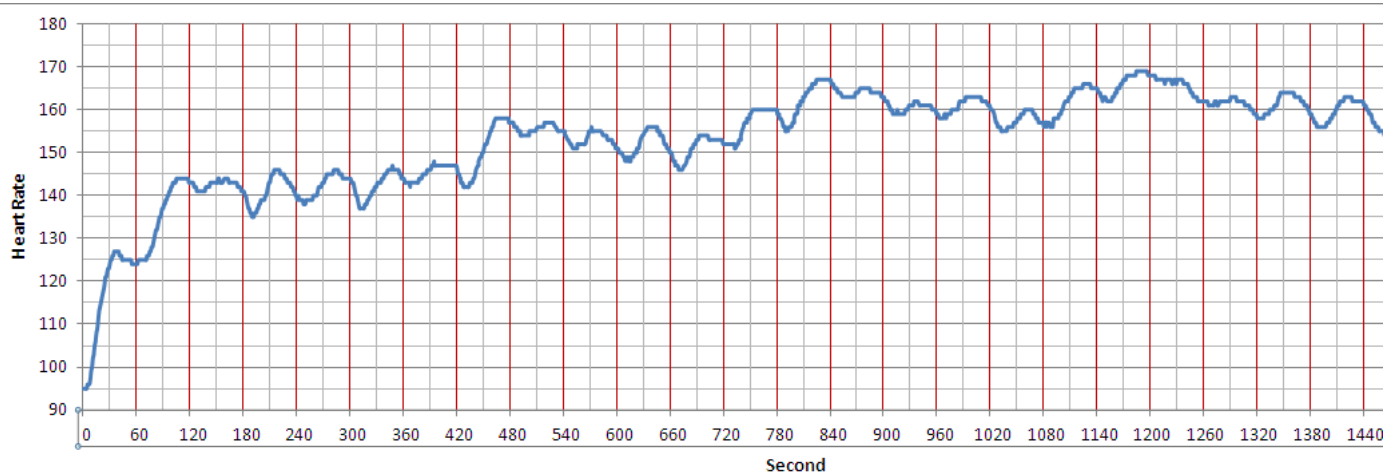
ส่วนอื่นๆ ของการแสดงผลแอนิเมชันได้แก่ การหมุนโมเดลให้ดูได้ในมุมอื่นๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถปฏิบัติตามท่าออกกำลังกายได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สามารถทำได้โดยการปรับ Hpr ฟังก์ชันการปรับมุมของ Actor นั้นควบคุมได้โดยปุ่มลูกศรซ้าย-ขวาบนแป้นพิมพ์ และตัวเลขแสดงชีพจรปัจจุบัน ที่จะแสดงที่ด้านขวาของตัวละคร ตัวเลขนั้นจะปรากฏขึ้นเมื่อได้รับข้อมูลจาก socket และตัวเลขนั้นๆ จะถูกแสดงเป็นเวลา 1 วินาที

4. ให้ผู้ทดลองทำการออกกำลังกายในแบบต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชีพจร โดยนำข้อมูลมาจัดไว้ในรูปแบบกราฟเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์

จากการวัดชีพจรระหว่างการออกกำลังกายแบบ High-Intensity Interval Training และ Aerobic Training ของผู้ทดลอง พบว่ากราฟของชีพจรเป็นดังนี้



ภาพที่ 1: กราฟแสดงชีพจรระหว่างการออกกำลังกายแบบที่ 1 ของผู้ทดลองคนที่ 1 ในรูปแบบ High-Intensity Interval Training เวลา 24 นาที



ภาพที่ 2: กราฟแสดงชีพจรระหว่างการออกกำลังกายแบบที่ 2 ของผู้ทดลองคนที่ 1 ในรูปแบบ High-Intensity Interval Training เวลา 24 นาที

ภาพที่ 1 และภาพที่ 2 เป็นการออกกำลังกายแบบ High Intensity Interval Training คือการออกกำลังกายที่แบ่งการออกกำลังกายเป็นช่วงสั้นๆ สลับกับการพัก ในรูปแบบที่ทดลองคือ ออกกำลังกายอย่างหนักเป็นเวลา 30 วินาที และพัก 30 วินาทีสลับกันไป โดยเป้าหมายของการออกกำลังกาย คือ การเร่งชีพจรให้ขึ้นไปอยู่ในระดับประมาณ 90% [6] ของ Maximum Heart Rate ด้วยการคำนวณแบบ Heart Rate Reserve ในกรณีนี้ ผู้ทดลองคนที่ 1 มี Heart Rate Reserve อยู่ที่อัตราการเต้น 107 ครั้งต่อนาที และควรจะออกกำลังกายในช่วงที่เร่ง (30 วินาทีแรกของแต่ละนาที) ชีพจรอยู่ที่ 161 ครั้งต่อนาที

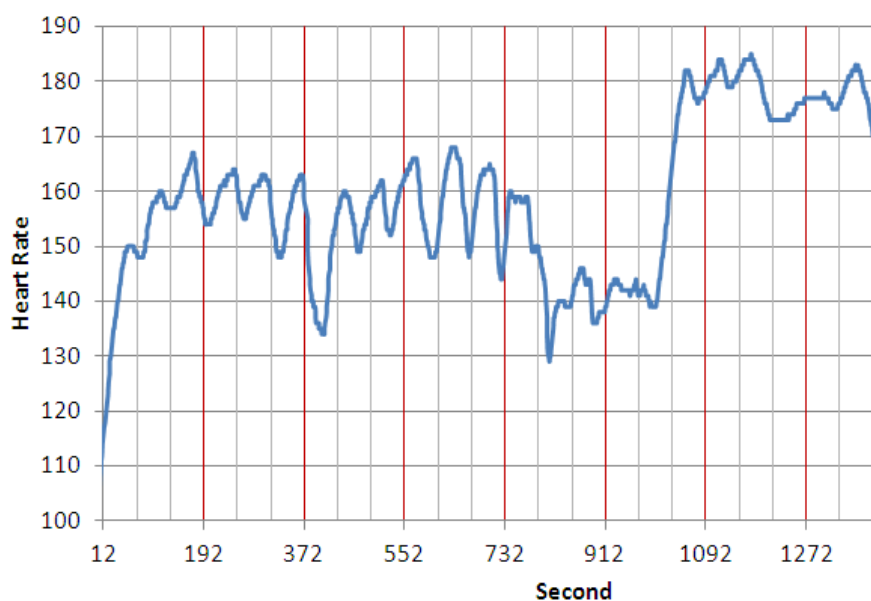
ชีพจรในช่วงแรก จากภาพที่ 1 คือตั้งแต่วินาทีที่ 14 – 374 และจากภาพที่ 2 ตั้งแต่วินาทีที่ 0 – 720 ชีพจรของผู้ทดลองเพิ่มขึ้นไม่ถึง 161 ซึ่งเป็นเป้าหมายในระหว่างการเร่งออกกำลังกาย ซึ่งจะทำให้ไม่ได้ผลจากการออกกำลังกายตามที่ต้องการ ส่วนในช่วงหลัง คือช่วงวินาทีที่ 734 เป็นต้นไปของภาพที่ 1 และวินาทีที่ 1080 เป็นต้นไปของภาพที่ 2 ชีพจรของผู้ทดลองในขณะเร่งออกกำลังกายมากกว่า 161 ซึ่งเป็นอันตรายต่อหัวใจ การออกกำลังกายนี้จึงไม่สามารถ

ทำให้ชีพจรมีความสม่ำเสมออยู่ในช่วงที่ต้องการได้

จากภาพที่ 1 ของการออกกำลังกายแบบที่ 1 เส้นสีแดงแสดงถึงช่วงเวลา 1 นาที ซึ่ง 30 วินาทีแรกเป็นการออกกำลังกายแบบแรง และ 30 วินาทีหลังเป็นการพัก ซึ่งชีพจรควรจะพุ่งขึ้นในช่วงครึ่งแรกและลดลงในช่วงครึ่งหลังเพื่อจะได้เร่งขึ้นได้อีกครั้งในนาทีต่อไป อย่างไรก็ตาม จากกราฟนี้ จะเห็นได้ว่าหลังจาก 30 วินาทีแรกที่ออกกำลังกายไปนั้น ชีพจรรยังพุ่งขึ้นต่อแม้จะอยู่ในช่วงพัก เช่น ในช่วงวินาทีที่ 434 – 494 ของกราฟในภาพที่ 1 หรือ ช่วงวินาทีที่ 780 – 840 ของกราฟในภาพที่ 2 นอกจากนี้ หลังจากพักแล้วเริ่มออกกำลังกายต่อแล้ว กราฟของชีพจรก็ยังคงลดลงเนื่องจากการพัก และเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายไปแล้วสักพักหนึ่ง เช่น ในช่วงวินาที 74 – 134 ของกราฟในภาพที่ 1 หรือวินาทีที่ 1140 – 1200 ของกราฟในภาพที่ 2 จึงจะเห็นได้ว่า กราฟของชีพจรระหว่างการออกกำลังกายนั้นไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้

นอกจากนี้ รูปแบบการขึ้นลงของชีพจรในแต่ละนาทีก็ยังแตกต่างกัน เนื่องจากผู้ทดลองเปลี่ยนท่าออกกำลังกายในแต่ละนาที ซึ่งท่าออกกำลังกายแต่ละท่าส่งผลต่อชีพจรต่างกันไป เช่น ในช่วงวินาทีที่ 554 – 614 ของกราฟในภาพที่ 1 หรือวินาทีที่ 180 – 240 ของกราฟในภาพที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่าการขึ้นของชีพจร ไม่เกิดขึ้นตามต้องการในแบบที่ต้องการ ในขณะที่ช่วงวินาทีที่ 794 – 854 ของกราฟในภาพที่ 1 และช่วงวินาทีที่ 420 – 480 ของกราฟในภาพที่ 2 นั้น ชีพจรมีการพุ่งขึ้นที่รวดเร็วมาก

จากภาพที่ 1 แถบสีเขียวแสดงถึงค่าเฉลี่ยของชีพจรในช่วงเวลานั้นๆ โดยมีการแบ่งการออกกำลังกายทั้งช่วงออกเป็น 4 ช่วงย่อย จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของชีพจรนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยช่วงแรกจะต่ำที่สุด และช่วงหลังจะมากที่สุด แม้ว่าจะมีการใช้ท่าออกกำลังกายที่เปลี่ยนไปทุกๆ 1 นาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระดับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อการออกกำลังกายจะเปลี่ยนไป โดยที่ตอนเริ่มต้นและตอนท้ายของการออกกำลังกายก็ไม่เหมือนกันอีกเช่นกัน



ภาพที่ 3: กราฟแสดงชีพจรระหว่างการออกกำลังกายแบบที่ 3 ของผู้ทดลองคนที่ 2 ในรูปแบบ High-Intensity Interval Training เวลา 24 นาที

ผู้ทดลองคนที่ 2 มี Heart Rate Reserve อยู่ที่ 127 และควรจเร่งชีพจรให้อยู่ที่ 183 ครั้งต่อนาที ในภาพที่ 3 ผู้ทดลองคนที่ 2 ออกกำลังกายด้วย Interval ในแบบที่เป็นการเร่งออกกำลังกาย 45 วินาทีและพัก 15 วินาที และทำท่าออกกำลังกายเดิมซ้ำกันด้วยรูปแบบดังกล่าว 3 รอบ โดยเส้นสีแดงในกราฟแสดงถึงการออกกำลังกายด้วยท่าหนึ่งๆ จะเห็นได้ว่า ในกราฟนี้ ผู้ทดลองคนที่ 2 มีการขึ้นลงของชีพจรที่มากกว่าผู้ทดลองคนแรก คือ ชีพจรมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่า แต่ถึงกระนั้น การเปลี่ยนแปลงที่ไม่สม่ำเสมอก็ยังมีให้เห็น เช่น ชีพจรในช่วงวินาทีที่ 552 – 732 มีการเปลี่ยนแปลงมากในระหว่างชีพจรช่วง 150 ถึงเกือบ 170 ครั้งต่อนาที แต่ในช่วงหลัง ตั้งแต่วินาทีที่ 1032 เป็นต้นไป ชีพจรไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ขึ้นสูง คืออยู่ระหว่าง 175 – 185 ครั้งต่อนาที นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า การออกกำลังกายในรูปแบบที่ 3 นี้ ไม่ส่งผลให้ชีพจรของผู้ทดลองเพิ่มขึ้นได้ถึงเป้าหมาย 183 ครั้งต่อนาทีเลยในช่วงแรก ตั้งแต่วินาทีที่ 0 – 900 ทำให้การออกกำลังกายนี้ไม่ส่งผลในแบบที่ต้องการเช่นกัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของชีพจรนั้นเป็นแบบ Nonlinear คือ เปลี่ยนไปตามสภาพร่างกายของผู้ออกกำลังกาย ท่าออกกำลังกาย รวมถึง Intensity ในการทำ และการขึ้นลงของชีพจรนั้นยังมีการ Delay หลังจากที่เราเริ่มออกกำลังกายแล้วหรือเริ่มพักแล้ว ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้เราไม่สามารถควบคุมชีพจรแบบ Linear โดยการเพิ่ม Intensity ขึ้นถ้าชีพจรต่ำไปหรือลด Intensity ลงถ้าชีพจรสูงเกินไปได้โดยตรง แต่เราก็ไม่สามารถที่จะสร้าง Identification Model ของชีพจรเพื่อใช้กับ Indirect Adaptive Control ได้ [5] เพราะการเปลี่ยนแปลงของผู้ออกกำลังกายแต่ละคนไม่เหมือนกัน จากที่ได้วิเคราะห์กราฟชีพจรด้านบน ผู้พัฒนาจึงได้เลือกใช้วิธีการทำ Neural Network Controller เพื่อมาใช้สำหรับคำนวณหาการออกกำลังกายที่เหมาะสม

5. ศึกษาเทคนิค Feedback Control ที่จะนำมาใช้พัฒนาโปรแกรมวิธีการสร้าง Adaptive Neural Network Controller

6. พัฒนา Predictive Model และระบบ Feedback Control

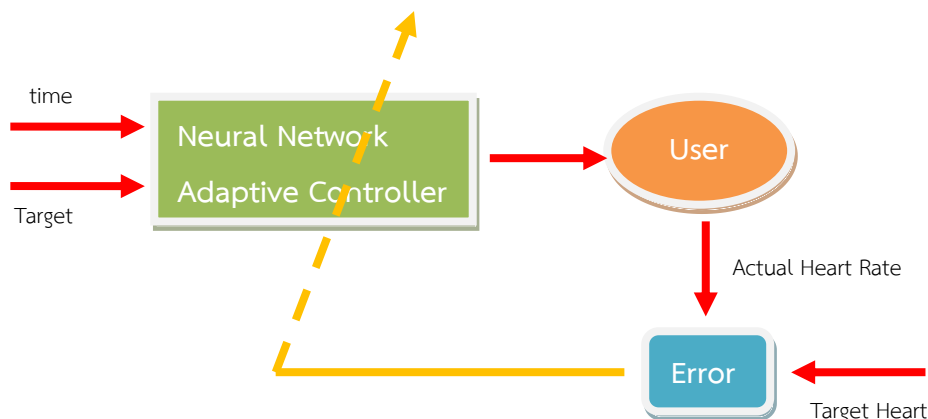
การออกแบบและพัฒนา Neural Network Predictive Model

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของชีพจรเป็นไปในแบบ Nonlinear จึงจำเป็นต้องมีการสร้าง Model ที่จะสามารถเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงของชีพจร ซึ่งผู้พัฒนาได้เลือกที่จะพัฒนา Neural Network Model เพื่อนำมาคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่จะเกิดขึ้นสำหรับการออกกำลังกายต่างๆ

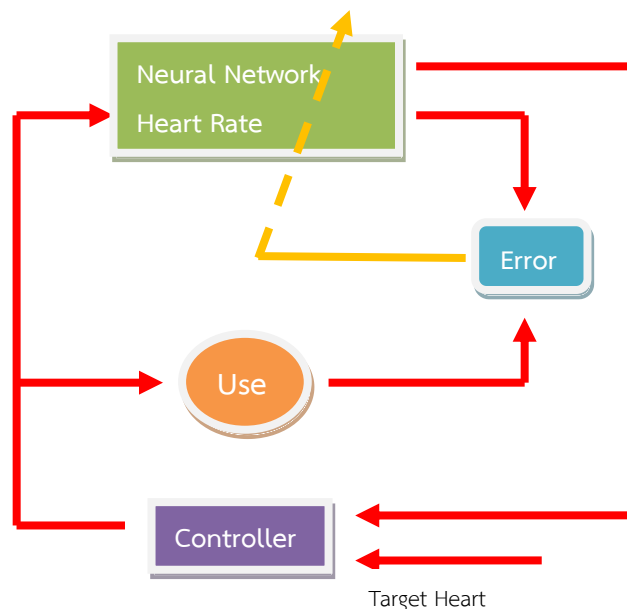
จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชีพจรจากการออกกำลังกายในเบื้องต้น ผู้พัฒนาได้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของการออกกำลังกายในวินาทีนั้นๆ เพื่อเพิ่มหรือลดชีพจร ให้ผลที่ไม่ทันการณ์ เนื่องจาก ชีพจรจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามแนวทางที่เป็นมาก่อนหน้าต่อไป แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของการออกกำลังกายแล้ว ซึ่งทำให้เกิดปัญหาชีพจรมากหรือน้อยกว่าช่วงของชีพจรเป้าหมาย ผู้พัฒนาจึงพยายามที่จะสร้าง Predictive Model ที่จะสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชีพจรได้ล่วงหน้าได้มากที่สุด นั่นคือ สามารถคาดการณ์ที่ชีพจรที่ t วินาทีจากปัจจุบัน โดย t เป็นค่าที่มากที่สุดที่การคาดการณ์ชีพจรมีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้

ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

ในขั้นแรก ผู้พัฒนาได้ตั้งใจจะพัฒนาระบบที่มีแผนผังการทำงานดังต่อไปนี้



แต่เนื่องจาก การหา gradient ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อการออกกำลังกายด้วย Intensity ต่างๆ นั้นไม่สามารถทำได้ เพราะการเปลี่ยนแปลงชีพจรของแต่ละคนนั้นมีรูปแบบไม่เหมือนกัน และข้อมูลชีพจรนั้น ถูกนำเข้าวินาทีละหนึ่งครั้ง ทำให้ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องได้ ผู้พัฒนาจึงออกแบบการทำงานของระบบใหม่ โดยใช้ Neural Network Model เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงในชีพจรของผู้ใช้ และใช้ Model ดังกล่าวเพื่อนำมาใช้พยากรณ์ชีพจรใน 10 วินาทีต่อไป ซึ่งระบบดังกล่าวจะมีการทำงานดังนี้



การทำงานของ Predictive Model นั้น ในขั้นเบื้องต้น ผู้พัฒนาได้ตั้งใจที่จะใช้ข้อมูลชีพจรเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการประมวลผลในโมเดลดังกล่าว นั่นคือสำหรับการใช้ข้อมูลชีพจร n วินาทีย้อนหลัง ข้อมูลนำเข้าคือ $HR_t, HR_{t-1}, HR_{t-2}, \dots, HR_{t-n}$ อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ชีพจรนั้นไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำเพียงพอ

จากการสังเกตข้อมูลชีพจร ผู้พัฒนาสังเกตว่า สิ่งที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในการออก

กำลังกายคือการเปลี่ยนแปลงของชีพจร กล่าวคือ เมื่อการออกกำลังกายมีค่า Intensity เพิ่มขึ้น ชีพจรจะมีการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้น เมื่อการออกกำลังกายมีค่า Intensity ลดลง การเปลี่ยนแปลงของชีพจรจะลดลง ดังนั้น ให้ $dHR_t = HR_t - HR_{t-1}$ ข้อมูลนำเข้าสำหรับ Neural Network Model เมื่อใช้ข้อมูลชีพจร n วินาทีย้อนหลังคือ $dHR_t, dHR_{t-1}, dHR_{t-2}, \dots, dHR_{t-n-1}$

เมื่อใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงของชีพจรเป็นข้อมูลนำเข้า ข้อมูลที่ได้จาก Neural Network Model จึงเป็นความเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาบวกกับข้อมูลชีพจร ณ เวลาปัจจุบัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นชีพจรที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในวินาทีถัดไป

จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชีพจรในการออกกำลังกาย ผู้พัฒนาเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของชีพจรนั้น จะเกิดขึ้นในอัตราระหว่าง -2 ถึง 2 ครั้ง/วินาที ดังนั้น ข้อมูลทั้งหมดใน Neural Network Model จะถูก scale ขึ้น เพื่อให้ค่า Error ระหว่างค่าที่คาดการณ์และค่าชีพจรจริงที่คำนวณได้ออกมามีค่าอยู่ระหว่าง -2 ถึง 2 ซึ่งการจะทำให้ข้อมูลที่ต้องการอยู่ในช่วงกล่าวดังนั้น ข้อมูลจะต้องได้รับการ Scale เพิ่มขึ้น ในกรณีนี้ ผู้พัฒนาได้เลือกที่จะ scale ค่าที่อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ใน Neural Network ให้กลายเป็น -4 ถึง 4 เมื่อข้อมูลมี Range กว้างขึ้นเป็น -4 ถึง 4 แล้ว ข้อมูลในช่วง -2 ถึง 2 จะเป็นข้อมูลช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบ linear ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการใช้งาน Neural Network ในช่วง Saturated Zone ได้ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงชีพจรโดย Intensity ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งค่า Error นี้จะถูกการปรับแก้ weight ระหว่าง node แต่ละตัวใน Neuron Network ซึ่งจะทำโดยวิธีการ Error Back Propagation

ดังนั้น ก่อนที่จะส่งข้อมูล dHR เข้าสู่โมเดลได้ ข้อมูลดังกล่าวจะต้องถูก Scale ลงให้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ก่อน แล้วข้อมูลส่งออกจึงจะได้การ Scale กลับขึ้นมาก่อนนำไปบวกกับข้อมูลชีพจรปัจจุบัน ดังนั้น ข้อมูลนำเข้าจึงเป็น

$$\frac{\Delta HR_t}{4.0}, \frac{\Delta HR_{t-1}}{4.0}, \frac{\Delta HR_{t-2}}{4.0}, \dots, \frac{\Delta HR_{t-n-1}}{4.0}$$

เนื่องจาก Neuron รับ Input และคำนวณ Output เป็น Bipolar สูตรในการคำนวณ Output จึงมีดังต่อไปนี้

ให้ $n_j = \sum_i weight_{ij} input_i$ เมื่อ i และ j เป็น node ใน Neural Network

$$\text{และ } z_j = \frac{1 - e^{-n_j}}{1 + e^{-n_j}}$$

ในการแก้ไข Neural Network Predictive Model นั้น จะทำโดยการคำนวณข้อมูลชีพจร n วินาทีย้อนหลัง สำหรับข้อมูลแต่ละวินาทีนั้น การคำนวณจะทำได้โดยการคิดย้อนหลังไป N วินาที นั่นคือ ในการคำนวณหาค่าชีพจรที่เวลา t-n จะต้องใช้ข้อมูลตั้งแต่เวลา t-n-1, t-n-2 ..., t-n-N เป็นข้อมูลนำเข้า เมื่อได้ข้อมูลชีพจรจาก Neural

Network Model มาแล้ว ก็จะได้ค่า Error คำนวณได้ดังนี้

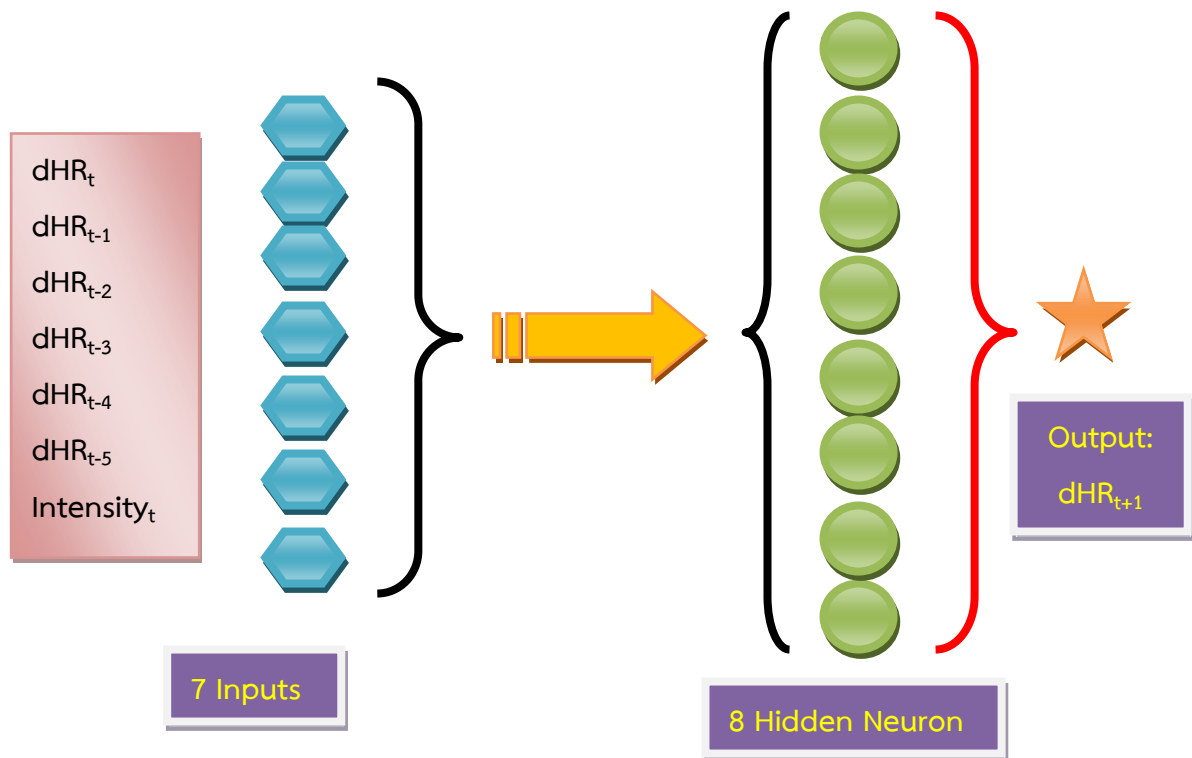
$$Error = \sum_{Time=t-n-N}^{t-n-1} \left(\frac{Predicted HR_{time} - Actual HR_{time}}{4.0} \right)^2$$

การปรับแก้ Weight ของแต่ละ Edge ของทุกๆ Node นั้นทำโดยกระบวนการ Back Propagation ซึ่งในโปรแกรมนี้ ผู้พัฒนาได้ตั้งค่า Learning Rate ไว้ที่ 0.01 โปรแกรมจะทำการปรับแก้สำหรับการคำนวณสำหรับเวลาตั้งแต่ t-n จนถึง t และทำซ้ำ 100 รอบ หาก Learning Rate มากกว่า 0.01 จะทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงกว้างมากและไม่แม่นยำ ในทางกลับกัน หาก learning rate น้อยกว่า 0.01 จะทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าเกินไปและปรับไม่ทันกับการเปลี่ยนแปลงของชีพจร และเนื่องจากระบบต้องส่งผลออกทุกๆ 1 วินาที จึงไม่สามารถทำการปรับ model มากกว่า 100 รอบได้

ผู้พัฒนาได้ทดลองเพื่อหาค่า n (จำนวนข้อมูลชีพจรที่ใช้คิดย้อนหลังในการพิจารณาสำหรับข้อมูลที่เวลา t) ซึ่งจากการทดลอง ผู้พัฒนาได้เลือกใช้ n = 7 เป็นระยะเวลาที่คิดย้อนหลัง ทำให้ข้อมูลนำเข้าสำหรับ Neural Network มี 7 ตัว คือข้อมูล dHR ทั้งหมด 6 ตัว และค่าความเข้มข้นของการออกกำลังกายที่เวลานั้นๆ อีก 1 ค่า ซึ่งผู้พัฒนาพบว่าการที่ให้ค่า Intensity เป็นข้อมูลนำเข้าด้วย ทำให้การคาดการณ์มีความแม่นยำมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งค่า Intensity จะต้องถูก Scale ให้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ด้วย (รายละเอียดจะอยู่ในส่วนกระบวนการทดลองและผลการทดลองด้านล่าง)

สำหรับการคาดการณ์ชีพจรต่อไปในอนาคต โปรแกรมจะทำการคาดการณ์โดยที่หลังจากทำการคาดการณ์สำหรับวินาทีที่ t แล้ว ก็จะใช้ค่าการคาดการณ์นั้นเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลนำเข้าในการคำนวณสำหรับเวลา t+1 เมื่อได้คาดการณ์ชีพจรที่เวลา t+1 แล้ว ก็ใช้ค่านั้นเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลนำเข้าในการคำนวณสำหรับเวลา t+2 ต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งผู้พัฒนามีเป้าหมายพยายามจะพัฒนาระบบที่สามารถคาดการณ์ชีพจรได้ล่วงหน้ามากที่สุด โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่มากเกินไป ซึ่งจากการทดลอง ผู้พัฒนาได้เลือกที่จะใช้ระบบคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงล่วงหน้าเป็นเวลา 10 วินาที (รายละเอียดจะอยู่ในส่วนกระบวนการทดลองและผลการทดลองด้านล่าง)

ในเบื้องต้น ผู้พัฒนาหาค่าของชีพจรที่คาดการณ์ ณ เวลาหนึ่งๆ ด้วยการบวกลบผลลัพธ์จาก Neuron Network Predictive Model ด้วยค่าชีพจรของเวลาก่อนหน้านั้นที่ได้จากการคาดการณ์ครั้งก่อนหน้า เพราะการคาดการณ์ต่อไปในอนาคตจะใช้ชีพจรจากการคาดการณ์ในการคำนวณต่อไป แต่จากการทดลอง ผู้พัฒนาพบว่า หากทำการคาดการณ์สำหรับเวลาปัจจุบัน ด้วยการบวกลบผลลัพธ์จาก Neural Network Model ด้วยชีพจรจริง ณ เวลานั้นๆ จะทำให้การคาดการณ์ได้แม่นยำขึ้นอย่างชัดเจน และจึงนำผลการคาดการณ์ชีพจรนั้นไปใช้ในการคำนวณล่วงหน้าสำหรับเวลาในอนาคตต่อไป (รายละเอียดจะอยู่ในส่วนกระบวนการทดลองและผลการทดลองด้านล่าง)



แผนผังแสดงการทำงานของ Neural Network Predictive Model

การออกแบบและพัฒนา $\frac{\Delta HR}{\Delta time}$ Model สำหรับทำออกกำลังกาย ณ ความเข้มข้นต่างๆ

Adaptive Neural Network Controller ทำงานหลังจากที่ชีพจร ณ เวลาปัจจุบันได้รับการประมวลผล โดย Predictive Model และได้รับข้อมูลการคาดการณ์ชีพจรในอีก 10 วินาทีต่อไปแล้ว ซึ่งจะทำงานโดยการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่ต้องการ และนำมาเปรียบเทียบกับความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อการออกกำลังกายในท่าและความเข้มข้นต่างๆ ทุกรูปแบบ เพื่อหาทำออกกำลังกายและระดับความเข้มข้นที่ตรงกับความต้องการในการเปลี่ยนแปลงของชีพจรมากที่สุด

ข้อมูลความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อการออกกำลังกายในท่าและความเข้มข้นต่างๆ นั้นจะไม่เหมือนกันสำหรับคนแต่ละคน เมื่อเริ่มการทำงาน ค่าความชันนี้จะถูก Preset ไว้ด้วยค่าประมาณ หลังจากเริ่มออกกำลังกายไปแล้ว โปรแกรมจะเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของชีพจรของแต่ละบุคคลเพื่อนำมาปรับ Model ความชันให้ตรงกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงชีพจรของผู้ใช้มากที่สุด โดย model นี้เป็น self-organizing map นั่นคือ เมื่อค่าความชันหนึ่งได้รับการปรับค่าตามข้อมูลที่ได้รับแล้ว ข้อมูลรอบข้างจะได้รับการปรับข้อมูลไปด้วย เพื่อป้องกันกรณีที่ความชันจะไม่สอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย

การปรับค่าความชันนั้นเป็นการปรับแบบ Exponential Average โดย Learning Rate ในการทดลองนี้ ถูกตั้งไว้ที่ 0.5 นั่นคือ เมื่อได้รับความชันของการเปลี่ยนแปลงชีพจรค่าใหม่เข้ามา ค่าความชันที่บันทึกใน model นั้นมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Slope} = 0.5 (\text{New Slope}) + 0.5 (\text{Previously Calculated Slope})$$

เพราะข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของชีพจรนั้นเป็นแบบ Nonlinear จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่า ค่าความชันที่คำนวณไว้จากการ Update ค่าครั้งก่อนหรือครั้งปัจจุบันที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นมากกว่ากัน อย่างไรก็ตาม ค่าความชันที่วัดได้ครั้งล่าสุด มีผลต่อการปรับค่าของ model มากที่สุด เพราะปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเหนื่อยของผู้ใช้เมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่ค่า Slope ที่วัดได้จากครั้งก่อนหน้า จะมีผลต่อค่าความชัน ปัจจุบันลดลงเป็นแบบ Exponential คือจาก 0.5 เป็น 0.25 เป็น 0.125 เป็นต้น

การปรับค่าชีพจรที่ใกล้เคียงนั้น ทำโดยใช้สูตรคำนวณเดียวกัน เพื่อป้องกันกรณีที่ความชันของการออกกำลังกายที่ความเข้มข้น x ของท่าออกกำลังกายหนึ่งนั้น มีค่าความชันมากกว่าค่าที่บันทึกไว้สำหรับความเข้มข้น $x+1$ หรือมีค่าความชันน้อยกว่าค่าที่บันทึกไว้สำหรับความเข้มข้น $x-1$ ของท่าออกกำลังกายเดียวกัน จึงต้องมีการปรับค่าต่อเนื่องกันไป เพื่อจะได้นำมาใช้เลือกท่าออกกำลังกายและระดับความเข้มข้นที่ได้ผลสำหรับการควบคุมชีพจรมากขึ้น

ค่าความชันของการเปลี่ยนแปลงของชีพจรต่อการออกกำลังกายด้วยความเข้มข้นที่น้อยที่สุดไปจนถึงความเข้มข้นที่มากที่สุดในท่าออกกำลังกายเดียวกัน จะถูก scale เป็นค่าความเข้มข้น -1 ถึง 1 เพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการทำงานในส่วน Neural Network Predictive Model ต่อไป

การทำงานของ Adaptive Neural Network Controller

หลังจากได้ข้อมูลการคาดการณ์ชีพจรในอีก 10 วินาทีข้างหน้าจาก Predictive Model แล้ว ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งมาประมวลผลในส่วน Controller ซึ่งพิจารณาแก้ไขการออกกำลังกายตามกรณีต่อไปนี้

1. กรณีที่อยู่ในช่วง Active Interval และชีพจรถูกเร่งขึ้นจนเข้าสู่ Range ของชีพจรที่ต้องการ ณ เวลาปัจจุบันแล้ว
2. กรณีที่อยู่ในช่วง Active Interval และชีพจรถูกลดลงมาจนเข้าสู่ Range ของชีพจรที่ต้องการ ณ เวลาปัจจุบันแล้ว ด้วยการหยุดออกกำลังกาย
3. กรณีที่ชีพจร ณ เวลาปัจจุบันยังต่ำกว่า Range ของชีพจรที่ต้องการ ขณะที่อยู่ในช่วง Rest Interval
4. กรณีที่ชีพจรจะขึ้นสูงกว่า Range ของชีพจรที่ต้องการ ณ เวลา 10 วินาทีจากเวลาปัจจุบัน
5. กรณีที่ชีพจรจะลงต่ำกว่า Range ของชีพจรที่ต้องการ ณ เวลา 10 วินาทีจากเวลาปัจจุบัน

สำหรับกรณีที่ 1, 2 และ 4 นั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในช่วง Active Interval โปรแกรมจะต้องคำนวณความชันของการเปลี่ยนแปลงชีพจรที่ต้องการด้วยสูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{\text{Upper Bound ของ Heart Rate Range} - \text{Current Heart Rate}}{\Delta t}$$

กล่าวคือ ความชันนั้น หาได้จากการเปลี่ยนแปลงของชีพจรในช่วงเวลา 10 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ต้องการคุมชีพจรให้ไม่เกิน Upper Bound ของ Heart Rate Range ใน Interval นั้นๆ หากด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลง ในกรณีนี้คือ 10 วินาทีที่ได้ทำการคาดการณ์ Heart Rate ไว้ล่วงหน้านั่นเอง

สำหรับกรณีที่ 3 นั้น เป็นความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น เมื่อชีพจรปัจจุบันนั้นต่ำกว่า Lower Bound ของ Range ชีพจรที่ต้องการในช่วง Rest Interval โดยโปรแกรมจะสั่งให้ออกกำลังกายในช่วงนี้ด้วย เพื่อเพิ่มชีพจรให้สูงขึ้น ถึงแม้จะเป็นช่วงพักก็ตาม โดยจะต้องคำนวณความชันของชีพจรที่ต้องการดังนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{\text{Lower Bound ของ Heart Rate Range} - \text{Current Heart Rate}}{\Delta t}$$

สำหรับกรณีที่ 5 นั้น เป็นความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น เมื่อชีพจรปัจจุบันนั้นยังอยู่ใน Range ของชีพจรที่ต้องการ แต่คาดว่าจะลงต่ำกว่า Lower Bound นี้ในอีก 10 วินาทีข้างหน้า ขณะที่อยู่ในช่วง Rest Interval ก็ตาม ซึ่งในกรณีนี้ โปรแกรมจะคำนวณหาความชันที่ต้องการดังต่อไปนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{\text{Heart Rate at time } (t+10) - \text{Current Heart rate}}{\Delta t} - \frac{\text{Lower bound of Heart Rate Range} - \text{Current Heart Rate}}{\Delta t}$$

กล่าวคือ ความชันที่ต้องการนั้น หาได้จากความต่างระหว่างความชัน 2 ค่าคือ ความชันของชีพจรที่คาดว่าจะลดลงใน 10 วินาทีข้างหน้า และความชันในการลดลงของชีพจรที่จะทำให้ชีพจรลดลงไปอยู่ที่ Lower Bound ของ Heart Rate Range ในเวลา 10 วินาทีข้างหน้าพอดี ความต่างระหว่างความชันสองค่านี้ จะทำให้ได้ความชันเป็นบวก สำหรับนำมาเปรียบเทียบหาการออกกำลังกายที่เหมาะสมสำหรับการปรับชีพจรให้ไม่ลงต่ำกว่า Range ที่ต้องการ

7. ออกแบบโปรแกรมที่จะพัฒนา

7.1 Input

- ข้อมูลพื้นฐานของผู้ใช้ ประกอบด้วย เพศ อายุ เพื่อนำมาคำนวณ Maximum Heart Rate
 - การคำนวณหา Maximum Heart Rate นั้นทำได้หลายวิธี ผู้พัฒนาเลือกใช้สูตรที่แตกต่างกัน

สำหรับการคำนวณ Maximum Heart Rate ในเพศหญิงและชาย ดังนี้

$$\text{Male: } 163 + (1.16 \times \text{age}) - (0.018 \times \text{age}^2) [7]$$

$$\text{Female: } 206 - (0.88 \times \text{age}) [8]$$

อย่างไรก็ตาม การทำงานของโปรแกรมไม่ขึ้นกับค่า Maximum Heart Rate ที่แท้จริง สูตรเหล่านี้เป็นเพียงการประมาณค่าโดยทั่วไปเท่านั้น

- Resting Heart Rate วัดด้วย Heart Rate Sensor ก่อนเริ่มการออกกำลังกาย เพื่อนำมาคำนวณ Heart Rate Reserve ที่จะนำมาใช้คำนวณหาชีพจรเป้าหมายในการออกกำลังกายต่อไป

$$\text{Heart Rate Reserve} = \text{Maximum Heart Rate} - \text{Resting Heart Rate}$$

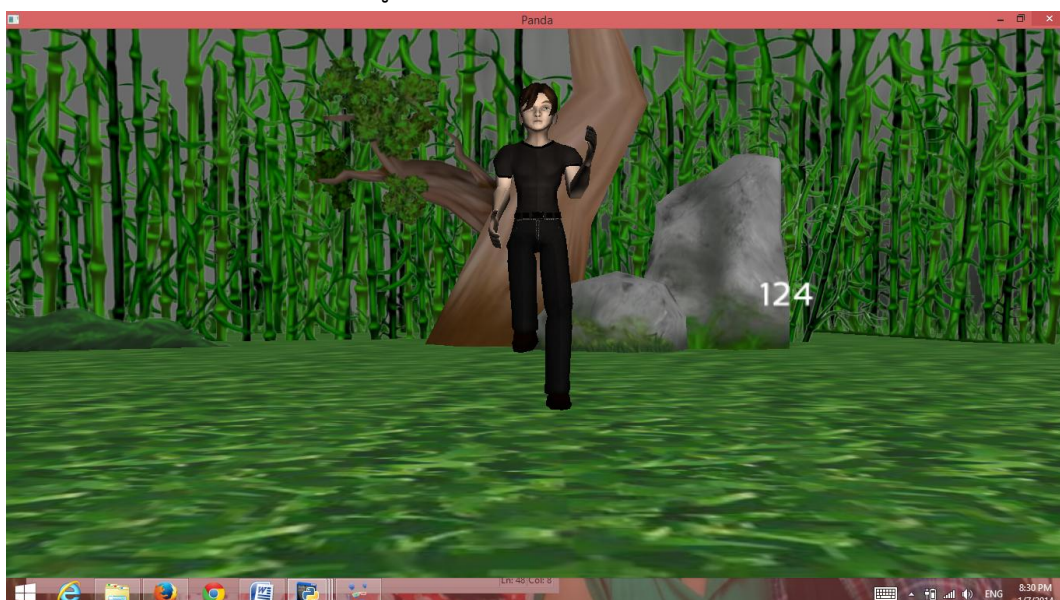
- ระยะเวลาและรูปแบบที่จะใช้ในการออกกำลังกาย โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของ Interval มีความยาว (เป็นหน่วยวินาที) และระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายในช่วงเวลานั้น ซึ่งระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของชีพจร คำนวณได้จาก Karvonen Formula

$$\text{Target Heart Rate} = (\text{Heart Rate Reserve} \times \text{Percentage of Training Intensity}) + \text{Resting Heart Rate}$$

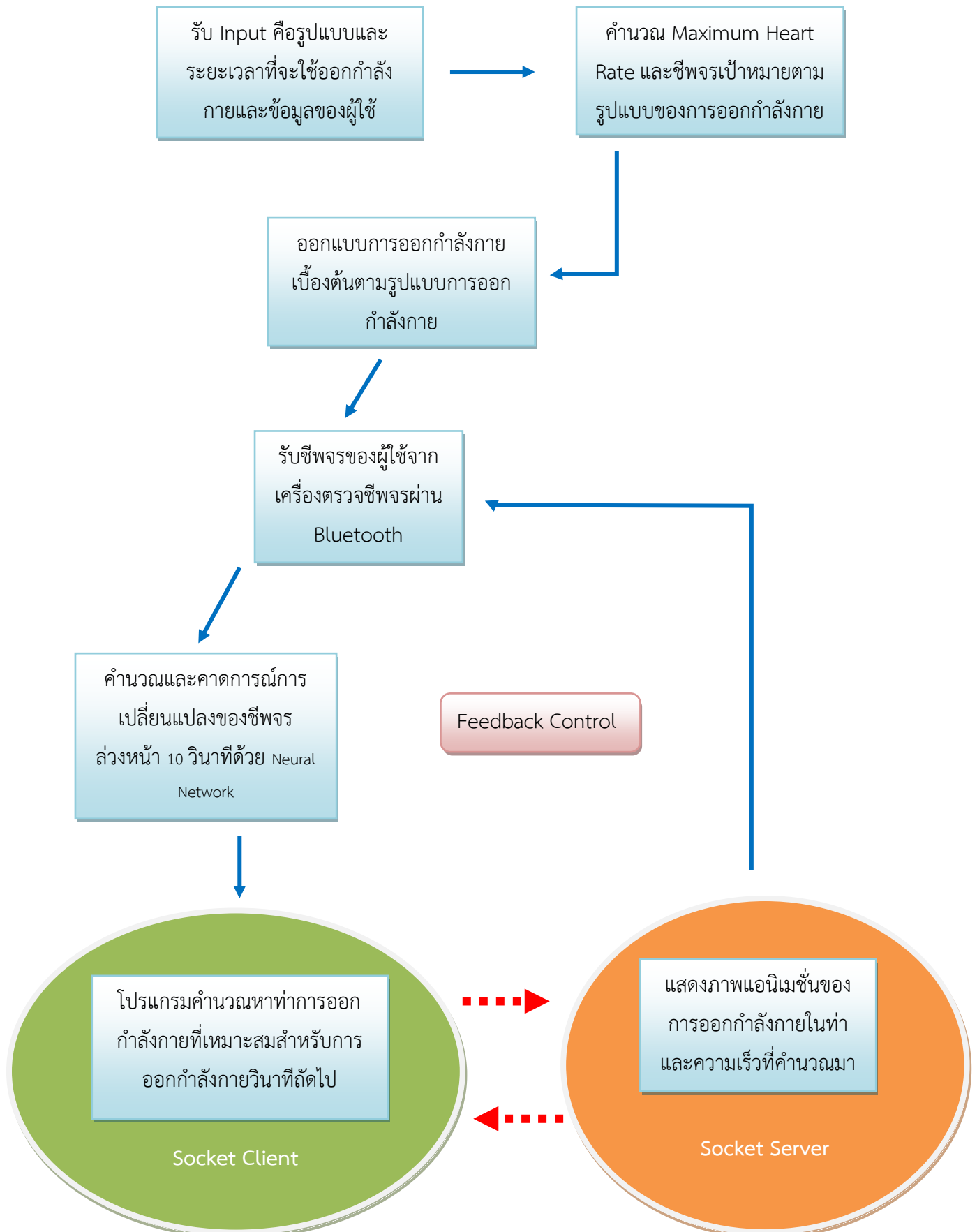
- ข้อมูลชีพจรจากเครื่องวัดชีพจร ซึ่งจะรับข้อมูลผ่านทาง Bluetooth ทุกๆ 1 วินาที

7.2 Output

ภาพแอนิเมชันสามมิติของตัวการ์ตูนที่กำลังออกกำลังกายในอัตราเร็วตามที่โปรแกรมคำนวณ



7.3 โครงสร้างของซอฟต์แวร์



8. ออกแบบ User Interface ของโปรแกรม

- หน้าจอหลัก

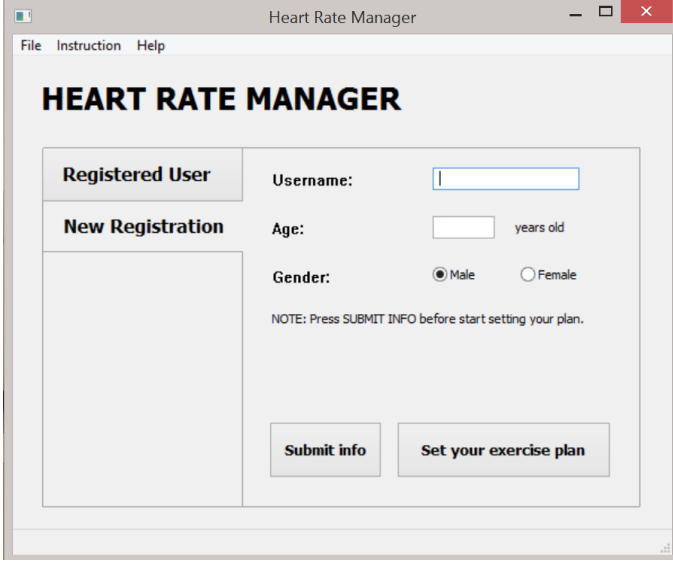
ส่วนลงทะเบียนผู้ใช้และวางแผนการออกกำลังกาย

คำจำกัดความ:

- Username: ชื่อ username ของผู้ใช้เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลข ไม่มีเว้นวรรค ชื่อ username จะถูกเก็บอยู่ในตัวแปร username ใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพศ อายุ และ Maximum Heart Rate ไว้สำหรับใช้ในครั้งต่อไปโดยไม่ต้องกรอกข้อมูลทั้งหมดใหม่
- Gender: เพศของผู้ใช้ (female/male) ถูกเก็บอยู่ในตัวแปรชนิด Boolean ชื่อ female และ male ใช้สำหรับระบุสูตรคำนวณ Maximum Heart Rate ซึ่งแตกต่างกันสำหรับผู้หญิงและผู้ชาย
- Age: อายุของผู้ใช้เป็นตัวเลขนับเต็ม ถูกเก็บอยู่ในตัวแปร age ใช้สำหรับคำนวณหา Maximum Heart Rate
- Maximum Heart Rate: อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ยังปลอดภัยถูกเก็บอยู่ในตัวแปร mhr เป็นค่าที่จำเป็นในการวิเคราะห์เพื่อควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากผลการวิจัยของ Northwestern University โดย Martha Gulati ในปี 2010^[8] สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา Maximum Heart Rate สำหรับผู้หญิงคือ $mhr = 206 - (0.88 \times age)$ และจากผลการวิจัยของ Oakland University ในปี 2007^[7] สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา Maximum Heart Rate สำหรับผู้ชายคือ $mhr = 163 + (1.16 \times age) - (0.018 \times age^2)$
- Interval:
 - Number of interval: จำนวน interval เป็นเลขจำนวนเต็มในช่วง 1-8 ถูกเก็บอยู่ในตัวแปร numofiv
 - Active interval: ช่วงที่ออกกำลังกาย มีความยาวเป็นค่าที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่หาร 5 ลงและมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เท่านั้น ไม่สามารถเป็น empty string หรือ 0 ได้
 - Rest Interval: ช่วงที่พัก มีความยาวเป็นค่าที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่หาร 5 ลงและมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไม่สามารถระบุค่าเป็น 0 แต่สามารถปล่อยว่างไว้ไม่ต้องระบุได้
 - Intensity: เป้าหมายของการออกกำลังกายคือเปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วง 51-90% ระบุได้หนึ่งค่าต่อหนึ่ง interval

องค์ประกอบ:

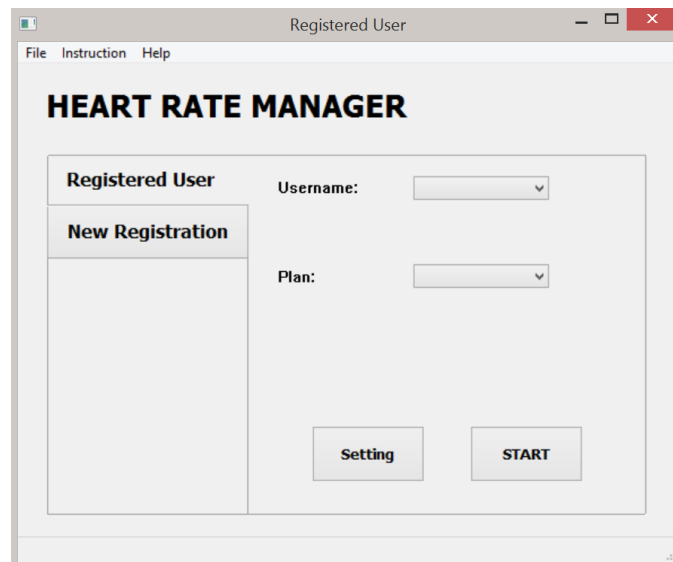
- หน้าหลัก (Home)
 1. New Registration



หน้าแรกของโปรแกรมสำหรับผู้ใหม่ ฟังก์ชันหลักคือเก็บข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ใหม่ (ลงทะเบียน) และนำข้อมูลไปเก็บไว้ในตัวแปรเพื่อนำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป (สำหรับผู้เก่า สามารถเลือก “Registered User” ทางด้านซ้ายของหน้าจอเพื่อไปยัง panel สำหรับผู้เก่า) มีองค์ประกอบดังนี้:

- Username: กล่องรับข้อความ (wx.TextCtrl) รับชื่อ username ของผู้ใช้
- Age: กล่องรับข้อความ (wx.TextCtrl) รับอายุของผู้ใช้
- Gender: wx.RadioButton ให้ผู้ใช้เลือกเพศ ค่ามาตรฐานจะตั้งอยู่ที่เพศชาย
- ปุ่ม Submit info: wx.Button กดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล หากข้อมูลไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะ Show dialog box เพื่อระบุนความผิดพลาดในข้อมูล
- ปุ่ม Set you exercise plan: wx.Button กดเพื่อไปที่หน้าจอ Interval planning: STEP 1 และเริ่มตั้งค่า exercise plan หากผู้ใช้อย่างไม่ได้ตรวจสอบความถูกต้องด้วยปุ่ม Submit info หรือตรวจสอบแล้วข้อมูลยังไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะ Show dialog box และไม่ดำเนินการต่อ

2. Registered User



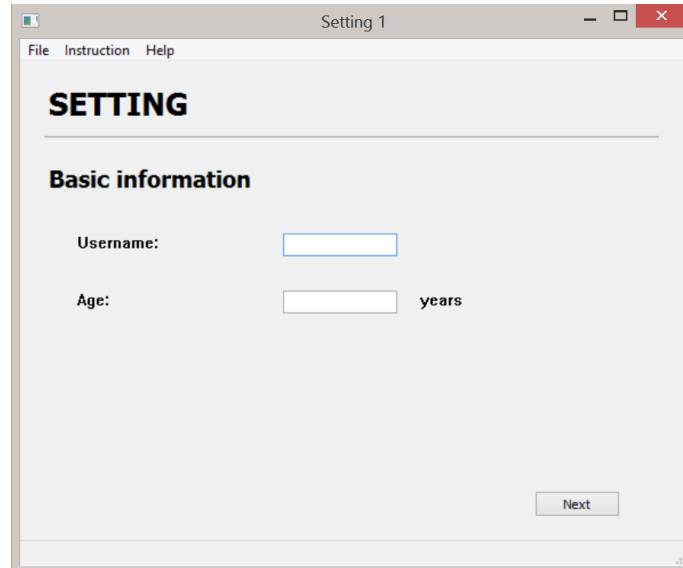
หน้าจอหลักสำหรับผู้ใช้ที่ลงทะเบียนแล้ว ฟังก์ชันหลักคือรับ username และ plan ของผู้ใช้เก่า และตั้งค่าตัวแปรทั้งหมดในโปรแกรมตามข้อมูลที่ผู้ใช้บันทึกไว้เพื่อดำเนินการในขั้นตอนต่อไป (สำหรับผู้ใช้ใหม่สามารถเลือก “New Registration” ทางด้านซ้ายของหน้าจอเพื่อกลับไปยัง panel สำหรับผู้ใช้ใหม่) มีองค์ประกอบดังนี้:

- Username: wx.SpinCtrl ให้ผู้ใช้เลือก username ของตนเอง โดยที่ตัวเลือกคือ list ของ username ทั้งหมด ซึ่งอ่านมาจากไฟล์ที่เก็บเฉพาะชื่อ username ทั้งหมดเท่านั้น ชื่อไฟล์ userdata.txt เมื่อผู้ใช้เลือก username โปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร username เป็นชื่อที่ถูกเลือก เปิดไฟล์ที่เก็บรายละเอียดของ user นั้นเพื่ออ่านข้อมูลเพศ อายุ และ Maximum Heart Rate และตั้งค่าตัวแปรตามค่าที่บันทึกไว้ในไฟล์
- Plan: wx.SpinCtrl ให้ผู้ใช้เลือก plan ที่ต้องการ โดยที่ตัวเลือกคือ list ของ plan ทั้งหมด ซึ่งอ่านมาจากไฟล์ที่เก็บเฉพาะชื่อ plan ชื่อไฟล์ plandata.txt เมื่อผู้ใช้เลือก plan โปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร sav เป็นชื่อที่ถูกเลือก เปิดไฟล์ที่เก็บรายละเอียดของ plan นั้นเพื่ออ่านข้อมูลจำนวน interval, ความยาวของ Active/Rest Interval, Intensity ในแต่ละ Interval, ความยาวของช่วงพักระหว่างเซต, repetition และเวลารวมที่ใช้ในการออกกำลังกาย และตั้งค่าตัวแปรตามค่าที่บันทึกไว้ในไฟล์
- ปุ่ม Setting: wx.Button สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการแก้ไขข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งของ username หรือ plan ที่เลือก ให้ผู้ใช้กดปุ่มนี้เพื่อไปยังหน้าจอ Basic information

- ปุ่ม Start: wx.Button กดเพื่อเริ่มการออกกำลังกาย โดยโปรแกรมจะเขียนข้อมูลที่อยู่ในตัวแปรทั้งหมดลงในไฟล์ userx.txt และ planx.txt เพื่อใช้ในโปรแกรมส่วนถัดไป

- หน้าการตั้งค่า (Setting)

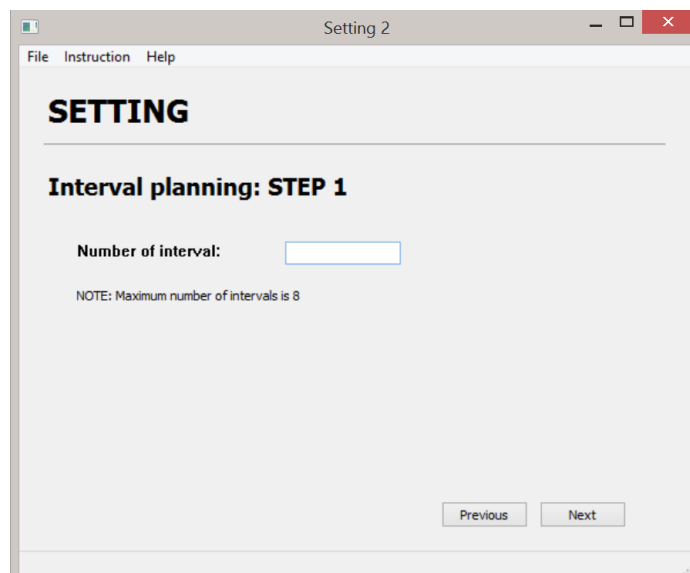
1. Basic information



The screenshot shows a window titled "Setting 1" with a menu bar containing "File", "Instruction", and "Help". The main content area has a heading "SETTING" followed by a sub-heading "Basic information". Below this, there are two labels: "Username:" and "Age:". Each label is followed by a text input field. To the right of the "Age:" input field is the text "years". At the bottom right of the window is a button labeled "Next".

หน้าจอ setting ข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ เป็นหน้าแรกของ setting เฉพาะเมื่อกดปุ่ม Setting ใน Home > Registered User เท่านั้น (ในกรณีอื่น ผู้ใช้สามารถเข้าสู่หน้าจอนี้ได้ด้วยการกดปุ่ม Previous ในหน้าจอ Interval planning: STEP 1) สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการ update username หรืออายุ ชื่อ username และอายุที่ระบุไว้ล่าสุดจะขึ้นอยู่ในกล่องข้อความ (wx.TextCtrl) ทั้งสองกล่องตามลำดับ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลในกล่องข้อความ (โปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร username และ age เป็นค่าใหม่) และดำเนินการต่อด้วยการกดปุ่ม Next (wx.Button) หากข้อมูลมีความผิดพลาด โปรแกรมจะดำเนินต่อแต่จะ Show dialog box แจ้งเตือนและไม่ update ค่าใหม่

2. Interval planning: STEP 1 (number of intervals)

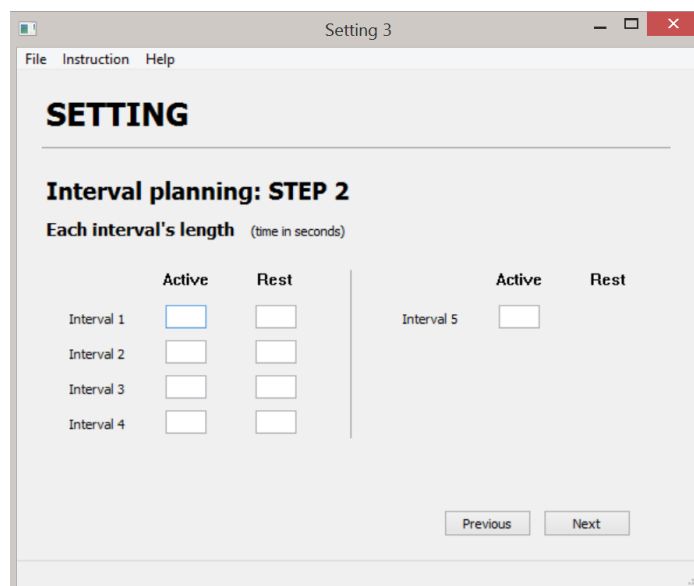


The screenshot shows a window titled "Setting 2" with a menu bar containing "File", "Instruction", and "Help". The main content area has a heading "SETTING" followed by a sub-heading "Interval planning: STEP 1". Below this, there is a label "Number of interval:" followed by a text input field. Below the input field is a note: "NOTE: Maximum number of intervals is 8". At the bottom right of the window are two buttons labeled "Previous" and "Next".

หน้าจอ Interval planning หน้าแรกและเป็นหน้าแรกของ setting เมื่อกดปุ่ม Set your exercise plan ในหน้าจอ Home > New Registration ฟังก์ชันคือรับค่าของจำนวน interval จากผู้ใช้ผ่านกล่องข้อความ (wx.TextCtrl) จากนั้นโปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร numofiv เป็นค่าที่ได้รับจากกล่องข้อความ

ผู้ใช้สามารถกลับไปยังหน้าจอ Basic information ได้ด้วยการกดปุ่ม Previous (wx.Button) และสามารถดำเนินการต่อด้วยการกดปุ่ม Next (wx.Button) หากข้อมูลมีความผิดพลาด โปรแกรมจะ Show dialog box แจ้งเตือนและไม่อนุญาตให้ดำเนินการต่อจนกว่าจะแก้ไขให้ถูกต้อง

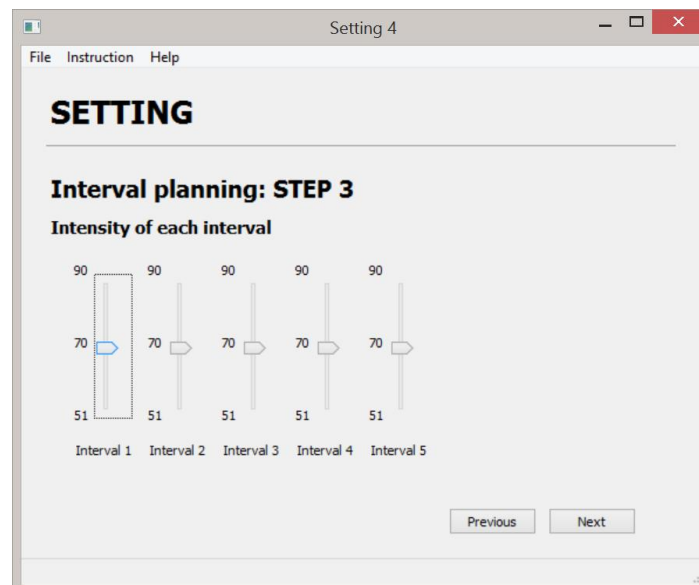
3. Interval planning: STEP 2 (Each interval's length)



หน้าจอ Interval planning หน้าที่สองหรือขั้นตอนที่สอง ฟังก์ชันคือรับค่าความยาวของแต่ละ interval (แบ่งเป็นช่วง Active กับช่วง Rest) จากผู้ใช้ผ่านกล่องข้อความ (wx.TextCtrl) ซึ่งจะ Show จำนวนกล่องข้อความตามค่าจำนวน interval ที่ผู้ใช้ระบุไว้ในหน้าจอก่อนหน้านี้ (Interval สุดท้ายไม่มี Rest) จากนั้นโปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร ac1-8 และ res1-8 เป็นค่าที่ได้รับจากกล่องข้อความ

ผู้ใช้สามารถกลับไปยังหน้าจอ Interval planning: STEP 1 ได้ด้วยการกดปุ่ม Previous (wx.Button) และสามารถดำเนินการต่อด้วยการกดปุ่ม Next (wx.Button) หากข้อมูลมีความผิดพลาด โปรแกรมจะ Show dialog box แจ้งเตือนและไม่อนุญาตให้ดำเนินการต่อจนกว่าจะแก้ไขให้ถูกต้อง

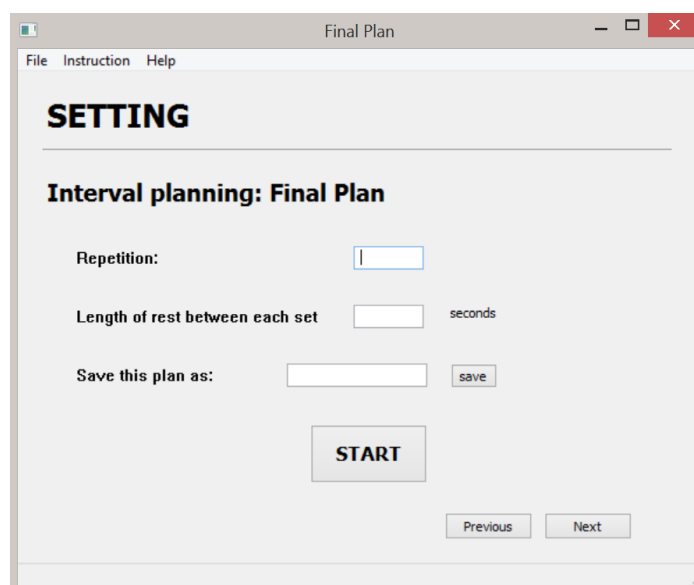
4. Interval planning: STEP 3 (Intensity of each interval)



หน้าจอ Interval planning หน้าทีสามหรือขั้นตอนที่สาม ฟังก์ชันคือรับค่า intensity ของแต่ละ intervals จากผู้ใช้ผ่าน wx.Slider ซึ่งจะ Show จำนวน slider ข้อความตามค่าจำนวน interval ที่ผู้ใช้ระบุไว้ จากนั้นโปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร x1-8 เป็นค่าที่ได้รับจากกล่องข้อความ หากผู้ใช้ไม่ปรับค่า intensity โปรแกรมจะตั้งค่าตัวแปรเป็นค่ามาตรฐานคือ 70

ผู้ใช้สามารถกลับไปยังหน้าจอ Interval planning: STEP 2 ได้ด้วยการกดปุ่ม Previous (wx.Button) และสามารถดำเนินการต่อด้วยการกดปุ่ม Next (wx.Button)

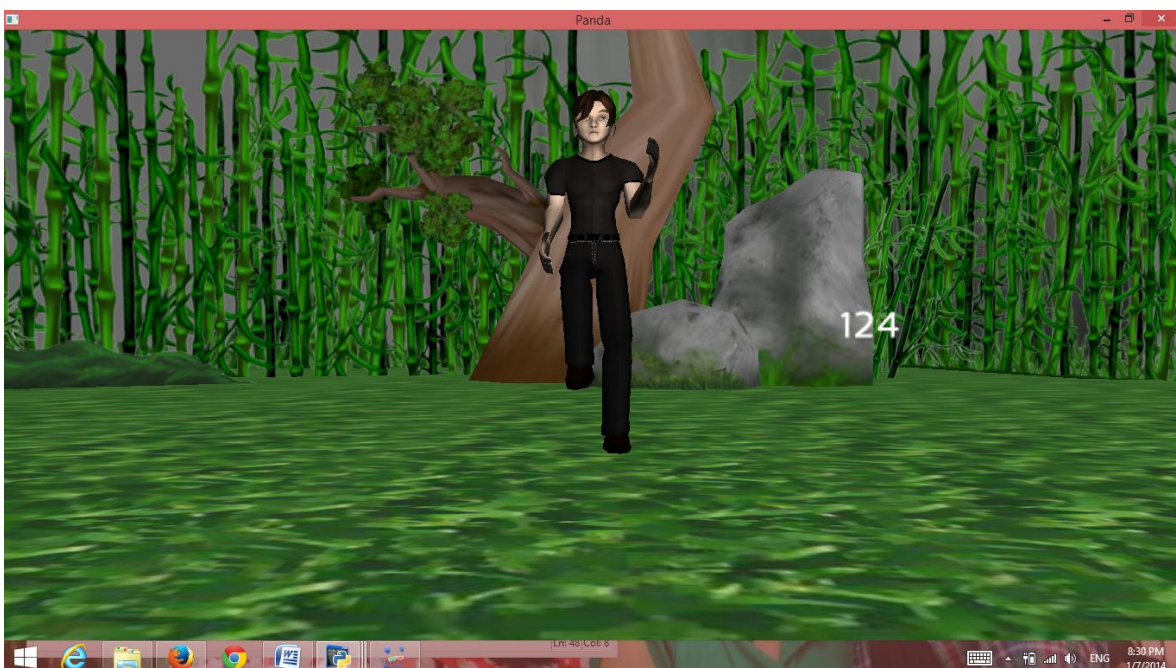
5. Interval planning: Final Plan



หน้าจอ Interval planning หน้าสุดท้ายหรือขั้นตอนสุดท้าย ฟังก์ชันคือรับค่าจำนวน repetition, ความยาวของช่วง Rest ระหว่างแต่ละเซต และชื่อ plan (เพื่อบันทึก) จากผู้ใช้ผ่านกล่องข้อความ wx.TextCtrl โปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปร re, btw และ sav เป็นค่าที่ได้รับจากกล่องข้อความตามลำดับ จากนั้น หากผู้ใช้ต้องการบันทึกค่าทั้งหมดที่กำหนดไว้อย่างถาวร ให้กดปุ่ม save (wx.Button) แล้วโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลจากตัวแปรทั้งหมดลงในไฟล์เพื่อเก็บไว้ใช้ในการออกกำลังกายครั้งต่อไป

ผู้ใช้สามารถกลับไปยังหน้าจอ Interval planning: STEP 3 ได้ด้วยการกดปุ่ม Previous (wx.Button) และเริ่มออกกำลังกายได้ด้วยการกดปุ่ม Start (wx.Button) โดยที่การกดปุ่ม Start แต่ไม่กดปุ่ม Save จะทำให้ผู้ใช้สามารถออกกำลังกายโดยใช้ค่าที่กำหนดล่าสุดได้ แต่ข้อมูลดังกล่าวจะไม่ถูกบันทึกไว้อย่างถาวรและไม่สามารถเรียกใช้ได้อีก

- หน้าจอแสดงผล (animation)



9. เขียนโปรแกรมสำหรับทดลองเทคนิคที่ใช้ในการทำ Adaptive Controller ปรับแก้ Algorithm และ Parameter ของ Adaptive Controller เพื่อให้ควบคุมชีพจรได้ตามต้องการ โดยที่ยังไม่ใช้ข้อมูลจาก Instant Heart Rate โดยตรง เพื่อให้ตัว Controller ให้ผลตามที่ต้องการ
10. เชื่อมต่อ Controller เข้ากับข้อมูลชีพจรที่นำเข้าจาก Heart Rate Sensor และการแสดงผลด้วย Animation
11. ทดลองโปรแกรมกับการออกกำลังกายแบบต่างๆ ในกลุ่มคนต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และปรับแก้จนโปรแกรมให้ผลที่ดีที่สุดมาเสมอว่าการประเมินด้วยผู้ออกกำลังกายเอง

12. วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของโปรแกรม

กระบวนการทดลอง

1. การทดลองเพื่อออกแบบและปรับแก้ Feedback Model

เป้าหมายของการทดลอง

เพื่อออกแบบและพัฒนา Neural Network Predictive Model

รูปแบบการทดลอง

1. ทดลองหาจำนวนข้อมูลชีพจรนำเข้าที่ทำให้ได้ค่าการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่แม่นยำที่สุด
 - คุณสมบัติของ Model ที่ใช้ในการทดลอง
 - คำนวณชีพจรที่คาดการณ์สำหรับเวลาปัจจุบัน โดยใช้ผลบวกระหว่างความเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่คาดการณ์และชีพจรที่ได้จากการคาดการณ์ ณ วินาทีก่อน
 - ใช้ความเข้มข้นของการออกกำลังกายเป็นข้อมูลนำเข้าตัวหนึ่งด้วย
 - ทดลองกับค่า $n = 5, 7$, และ 9
2. ทดลองใช้ชีพจรจริงในการหาผลลัพธ์ชีพจรโดยนำมารวมกับค่าการเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่ได้จากการคาดการณ์ ก่อนจะนำมาใช้สำหรับคาดการณ์ ณ เวลาต่อไปในอนาคต
 - ทดลองกับจำนวนข้อมูลนำเข้าที่ได้ค่าแม่นยำที่สุดจากการทดลองที่ 1
 - ใช้ค่าความเข้มข้นของการออกกำลังกายเป็นข้อมูลนำเข้าตัวหนึ่งด้วย
3. ทดลองระหว่างการใส่ข้อมูลความเข้มข้นของการออกกำลังกายและไม่ใส่ ว่าแบบใดให้ผลที่แม่นยำกว่า
 - ทดลองกับจำนวนข้อมูลนำเข้าที่ได้ค่าแม่นยำที่สุดจากการทดลองที่ 1
 - หาผลลัพธ์ชีพจรสำหรับการคาดการณ์ชีพจรล่วงหน้าด้วยวิธีการที่ได้ค่าแม่นยำที่สุดจากการทดลองที่ 2

ข้อมูลตัวอย่าง ชีพจรที่วัดได้จากการออกกำลังกายแบบ Interval Training ซึ่งเป็นการสลับระหว่าง Active Interval เวลา 30 วินาทีและการพัก 30 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบเป็นเวลารวม 3 นาที (180 วินาที) โดยมีข้อมูลทั้งหมด 6 ชุดในการทดสอบ

2. การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับผู้ใช้จริง

เป้าหมายของการทดลอง

เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบโดยรวมในการควบคุมชีพจรของผู้ออกกำลังกาย ในรูปแบบต่างๆ

รูปแบบของการทดลอง

1. ผู้ทดลองออกกำลังกายออกกำลังกายเอง โดยจะมีชีพจรแสดงให้ดูตลอดเวลา แต่ไม่มีแอนิเมชันนำออกกำลังกาย ซึ่งผู้ทดลองจะต้องพยายามปรับการออกกำลังกายของตนเองในรูปแบบใดก็ได้ เพื่อควบคุมชีพจรให้อยู่ในรูปแบบ Interval Training โดยออกกำลังกายด้วยความเข้มข้น 70-80% เป็นเวลา 30 วินาทีสลับกับการพัก 30 วินาที และทำซ้ำ 5 รอบเป็นเวลารวม 5 นาที และออกกำลังกายในรูปแบบดังกล่าวโดยใช้โปรแกรมเป็นตัวควบคุม เป้าหมาย เพื่อเป็นตัวอย่างของการออกกำลังกายแบบไม่ใช้โปรแกรมในการช่วยควบคุมชีพจร นำมาเปรียบเทียบกับการทำงานของโปรแกรม เพื่อดูความแตกต่างและประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม
2. ผู้ทดลองออกกำลังกายในรูปแบบ Cardio Training โดยจะมีชีพจรแสดงให้ดูตลอดเวลา แต่ไม่มีแอนิเมชันนำออกกำลังกาย ซึ่งผู้ทดลองจะต้องพยายามปรับการออกกำลังกายของตนเองในรูปแบบใดก็ได้ เพื่อควบคุมชีพจรในช่วง 60-70% อย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 5 นาที เป้าหมาย เพื่อเป็นตัวอย่างของการออกกำลังกายแบบไม่ใช้โปรแกรมในการช่วยควบคุมชีพจร นำมาเปรียบเทียบกับการทำงานของโปรแกรม เพื่อดูความแตกต่างและประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม (เทียบกับการทดลองที่ 5)
3. ผู้ทดลองออกกำลังกายในรูปแบบ High-Intensity Interval Training โดยออกกำลังกายด้วยความเข้มข้น 80-90% เป็นเวลา 30 วินาทีสลับกับการพัก (ความเข้มข้น 50%) เป็นเวลา 30 วินาที และทำซ้ำ 5 รอบ เวลารวม 5 นาที เป้าหมาย เพื่อสังเกตการทำงานของโปรแกรมเมื่อชีพจรของผู้ทดลองเข้าใกล้ Maximum Heart Rate ซึ่งเป็นช่วงที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ เพราะเป็นการออกกำลังกายด้วยความเข้มข้นสูง การออกกำลังกาย Interval หนึ่งจึงมีความยาวเพียง 30 วินาที เพราะผู้ทดลองไม่สามารถออกกำลังกายในระดับนี้ได้ยาวนานนั้น
4. ผู้ทดลองออกกำลังกายในรูปแบบ Interval Training โดยออกกำลังกายด้วยความเข้มข้น 70-80% เป็นเวลา 60 วินาทีสลับกับการพัก (ความเข้มข้น 50%) เป็นเวลา 60 วินาที และทำซ้ำ 5 รอบ เวลารวม 10 นาที เป้าหมาย เพื่อสังเกตการทำงานของโปรแกรมในช่วงเวลาที่ยาวนาน เพราะจากการทดลองแบบที่หนึ่ง โปรแกรมได้แสดงการเปลี่ยนแปลงการออกกำลังกายเพื่อรักษาระดับชีพจรเป็นช่วงเวลาที่สั้น การทดลองแบบที่สอง จึงได้ลดระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายลง เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถออกกำลังกายได้ยาวถึง 60 วินาที
5. ผู้ทดลองออกกำลังกายในรูปแบบ Cardiovascular Training โดยออกกำลังกายด้วยความเข้มข้น 60-70% สม่ำเสมอโดยไม่มีการพักเป็นเวลา 5 นาที

เป้าหมาย เพื่อสังเกตการทำงานของโปรแกรมในการรักษาชีพจรที่ต่ำลง เป็นเวลายาวขึ้น จึงได้เลือกการออกกำลังกายแบบ Cardiovascular ซึ่งเป็นการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

1. การทดลองเพื่อออกแบบและปรับแก้ Feedback Model

การทดลองที่ 1

ครั้งที่ 1 – วัดความคลาดเคลื่อนของ Model ในการคาดการณ์ชีพจรปัจจุบัน

ตารางที่ 1: ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดและความผิดพลาดสูงสุดสำหรับจำนวนข้อมูลนำเข้า 5, 7, 9 ค่า

Number of Look Back HR	5		7		9	
Data #	Average Error	Maximum Error	Average Error	Maximum Error	Average Error	Maximum Error
1	0.738543	3.339182	0.777299	2.87695	0.822476	4.052693
2	0.650881	2.737679	0.700168	2.782639	0.733227	3.857875
3	0.633033	2.667941	0.649759	2.160098	0.69143	2.836886
4	0.923185	4.57618	0.790456	3.868715	0.953991	4.037622
5	0.693337	3.592526	0.624971	2.947542	0.75979	3.540674
6	0.669975	2.57519	0.590559	2.620961	0.649373	2.597248
<u>Average Result</u>	0.718159	3.248116	0.688869	2.876151	0.768381	3.487166

สรุปผลการทดลองที่ 1 การใช้ข้อมูลชีพจรนำเข้าย้อนหลังเป็นเวลา 7 วินาทีให้ผลที่ดีที่สุด

ครั้งที่ 2 – วัดความสามารถของโมเดลที่ดูข้อมูลย้อนหลัง 7 วินาทีในการคาดการณ์ชีพจร 10 วินาทีล่วงหน้า

ตารางที่ 2: ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ชีพจร 1-10 วินาทีล่วงหน้า ด้วยโมเดลที่ใช้ในการทดลองที่ 1 เมื่อรับข้อมูลนำเข้า 7 ตัว

Time	1	2	3	4	5
Data #					
1	1.065447301	1.351625101	1.644231675	1.944670799	2.28640391
2	0.900708583	1.169569394	1.452761746	1.736812568	2.037707638
3	0.806624459	1.042914047	1.298566207	1.555501583	1.79460552
4	1.1344463	1.43504814	1.803929559	2.166338997	2.547451296
5	0.841708561	1.023915223	1.273271689	1.526168302	1.76930557
6	0.767537652	0.956124043	1.77303155	1.395583925	1.624047811
<u>Average Result</u>	0.919412143	1.163199324	1.44167739	1.720846029	2.00920291

Time	6	7	8	9	10
Data #					
1	2.64730247	3.025478474	3.45524282	3.88972859	4.306456468
2	2.351065569	2.670306139	3.027617876	3.39804723	3.795594927
3	2.054433911	2.319662448	2.614794363	2.928190621	3.255450853
4	2.920231885	3.283171537	3.646272958	4.01912984	4.440358791
5	2.015781964	2.269403273	2.550467213	2.824501059	3.168961864
6	1.861418262	2.115743612	2.387277673	2.655531483	2.951864955
Average Result	2.308272343	2.613960914	2.94696215	3.285895515	3.653114643

การทดลองที่ 2

ครั้งที่ 1 – วัดความคลาดเคลื่อนของ Model ในการคาดการณ์ชีพจรปัจจุบัน

ตารางที่ 3: ตารางแสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงสุดสำหรับโมเดลที่คำนวณค่าโดยใช้ชีพจรจริงและชีพจรที่ได้จาก Neural Network Predictive Model

Data #	Predict with Actual Heart Rate		Predict with Heart Rate from Predictive Model	
	Average Error	Maximum Error	Average Error	Maximum Error
1	0.40493	1.711958	0.777299	2.87695
2	0.391642	1.711958	0.700168	2.782639
3	0.362131	1.711958	0.649759	2.160098
4	0.39369	1.520268	0.790456	3.868715
5	0.358138	1.520268	0.624971	2.947542
6	0.350318	1.46397	0.590559	2.620961
Average Result	0.376808	1.60673	0.688869	2.876151

สรุปผลการทดลองที่ 2 การใช้ข้อมูลชีพจรจริงในการคาดการณ์ชีพจรปัจจุบันมีความแม่นยำมากกว่า

ครั้งที่ 2 – วัดความสามารถของโมเดลที่คาดการณ์โดยใช้ชีพจรจริงในการคาดการณ์ชีพจร 10 วินาทีล่วงหน้า

ตารางที่ 4: ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ชีพจร 1-10 วินาทีล่วงหน้า ด้วยโมเดลที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ที่คำนวณค่าโดยใช้ชีพจรจริงในการคาดการณ์ชีพจร ณ เวลาปัจจุบัน

Time	1	2	3	4	5
Data #					
1	0.452985777	0.693269798	0.941466521	1.234600524	1.544280594
2	0.434931173	0.669412381	0.895296431	1.143284216	1.414033501
3	0.407587746	0.608689252	0.803444006	0.998607361	1.219226729
4	0.409329592	0.593277076	0.856195541	1.184830119	1.292378424
5	0.377773635	0.507400576	0.67209548	0.869368338	1.059986249
6	0.380532192	0.52260233	0.688154718	0.872528336	1.055897139
Average Result	0.410523353	0.599108569	0.809442116	1.050536482	1.297633773
Time	6	7	8	9	10
Data #					
1	1.90828173	2.259058397	2.646699105	3.032127994	3.459847498
2	1.702242569	1.999730705	2.312100743	2.635253546	2.98090575
3	1.438964627	1.650164072	1.877908798	2.108784259	2.353752072
4	1.843314379	2.186936388	2.5458808798	2.926150686	3.30042219
5	1.292467253	1.545472721	1.804227901	2.06462074	2.332739911
6	1.275427341	1.530615042	1.779586441	2.031704192	2.299719638
Average Result	1.576782983	1.861996221	2.161067201	2.466440236	2.787897843

การทดลองที่ 3

วัดความสามารถของโมเดลที่คาดการณ์โดยใช้ชีพจรจริงในการคาดการณ์ชีพจร 10 วินาทีล่วงหน้า โดยไม่ใช้ค่าความเข้มข้นเป็นข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5: ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ชีพจร 1-10 วินาทีล่วงหน้า ด้วยโมเดลที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ที่คำนวณค่าโดยใช้ชีพจรจริงในการคาดการณ์ชีพจร ณ เวลาปัจจุบันแต่ไม่ใส่ข้อมูลค่าความเข้มข้นในการออกกำลังกายเป็นข้อมูลนำเข้า

Time	1	2	3	4	5
Data #					
1	1.520958343	2.127935973	2.762469527	3.44286356	4.068801969
2	0.542668534	0.753271611	1.000035734	1.287040026	1.529613494
3	0.461216618	0.651143375	0.867328424	1.092760068	1.309628598
4	1.32915821	1.760309861	2.289989903	2.834617098	3.420102192
5	0.403249812	0.559103326	0.766339989	0.997129153	1.235851412
6	0.399945181	0.550224902	0.730937832	0.939148731	1.156936738
Average Result	0.77619945	1.066998175	1.402850235	1.765593106	2.120155734

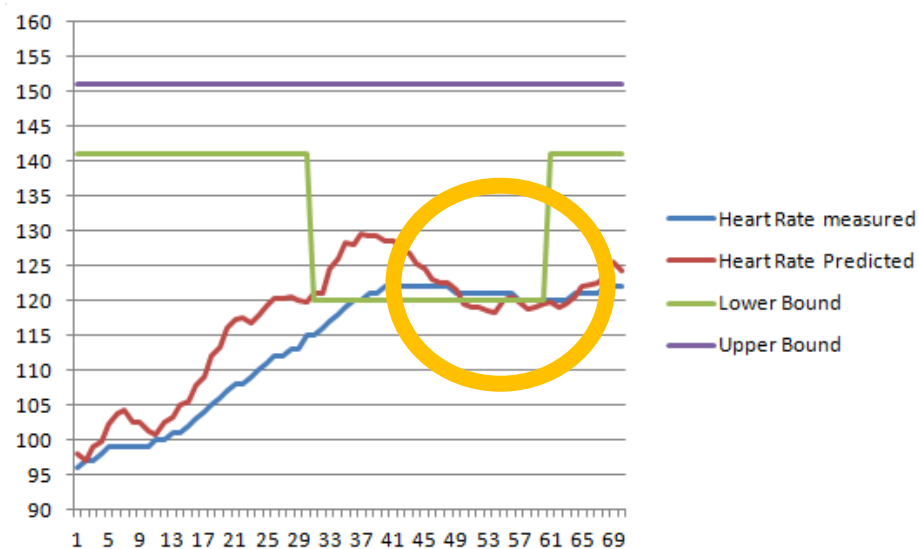
Time	6	7	8	9	10
Data #					
1	4.718391455	5.343241411	6.055586965	6.808817258	7.586233916
2	1.782308506	2.055401199	2.355090404	2.662963245	3.000526795
3	1.534191228	1.778972943	2.050930025	2.328681176	2.630719283
4	3.98692002	4.544476057	5.214065972	5.843751557	6.51114748
5	1.500888885	1.769541319	2.06336386	2.36180023	2.663614125
6	1.387730106	1.647251939	1.903175443	2.154418938	2.425267976
Average Result	2.48501703	2.856480811	3.273702112	2.6934505401	4.136251596

สรุปผลการทดลองที่ 3 การใช้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของการออกกำลังกาย (ตารางที่ 4) มีความแม่นยำมากกว่า

2. การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกับผู้ใช้จริง

การทดลองที่ 1: การทำงานของโปรแกรมเพื่อควบคุมชีพจรในสถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์ที่ 1: การที่โปรแกรมเพิ่มระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มชีพจรขึ้น ในกรณีที่คาดการณ์ว่าชีพจรจะลงต่ำกว่า 50% ของ Maximum Heart Rate (เมื่อคำนวณด้วย Heart Rate Reserve) ในอีก 10 วินาทีข้างหน้า



กราฟ 1: กราฟแสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อเพิ่มชีพจรขึ้น เมื่อมีการคาดการณ์ว่าชีพจรจะลงต่ำกว่า Lower Bound ของช่วงชีพจรขณะที่อยู่ใน Rest Interval จากการทดลองออกกำลังกายแบบ High-Intensity Interval Training

กรณีที่จะมีการคาดการณ์ว่าชีพจรจะลงต่ำกว่า Lower Bound ของช่วงชีพจรขณะที่อยู่ใน Rest Interval โปรแกรมจะสั่งให้มีการออกกำลังกายขึ้น เพื่อเพิ่มระดับชีพจร ในกราฟที่ 1 ในช่วงวินาทีที่ 56 จนถึงวินาทีที่ 60 เป็นช่วงที่มีการคาดการณ์ว่าชีพจรจะลงต่ำกว่าที่ต้องการ (เส้นสีแดง) ซึ่งโปรแกรมได้สั่งให้มีการออกกำลังกายด้วยท่า Jumping Jack ด้วย Intensity ระดับ 3 (ระดับ Intensity สูงสุดของท่าออกกำลังกายนี้) ทำให้ชีพจรจริง (เส้นสีฟ้า) นั้นคงอยู่ในช่วงชีพจรที่ต้องการได้

สถานการณ์ที่ 2: การที่โปรแกรมลดระดับการออกกำลังกายลงหลังจากแรงการออกกำลังกายจนชีพจรอยู่ในช่วงที่ต้องการแล้วเพื่อรักษาระดับชีพจร



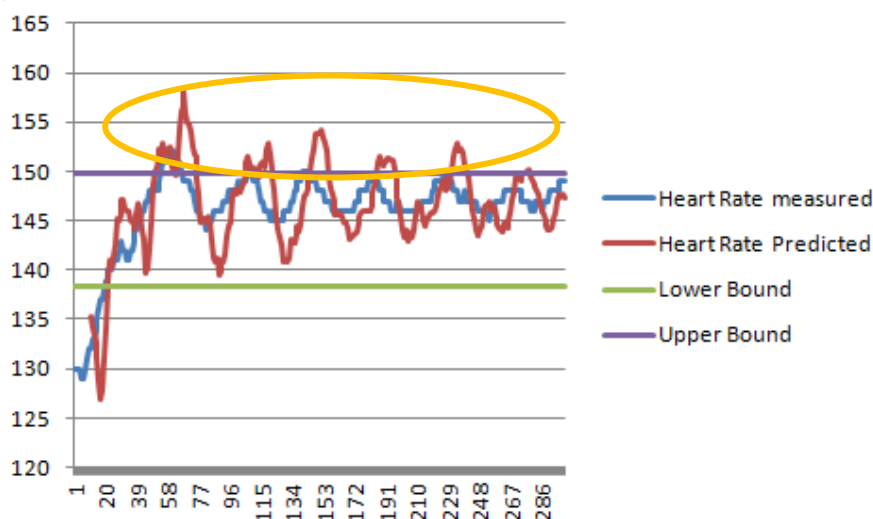
กราฟ 2,3: กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของชีพจรที่เกิดขึ้นหลังจากชีพจรนั้นเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ช่วงชีพจรที่ต้องการ จากการออกกำลังกายแบบ High-Intensity Interval Training

กรณีที่ชีพจรนั้นมีการเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ช่วงของชีพจรที่ต้องการในช่วง Active Interval แล้ว โปรแกรมจะทำ

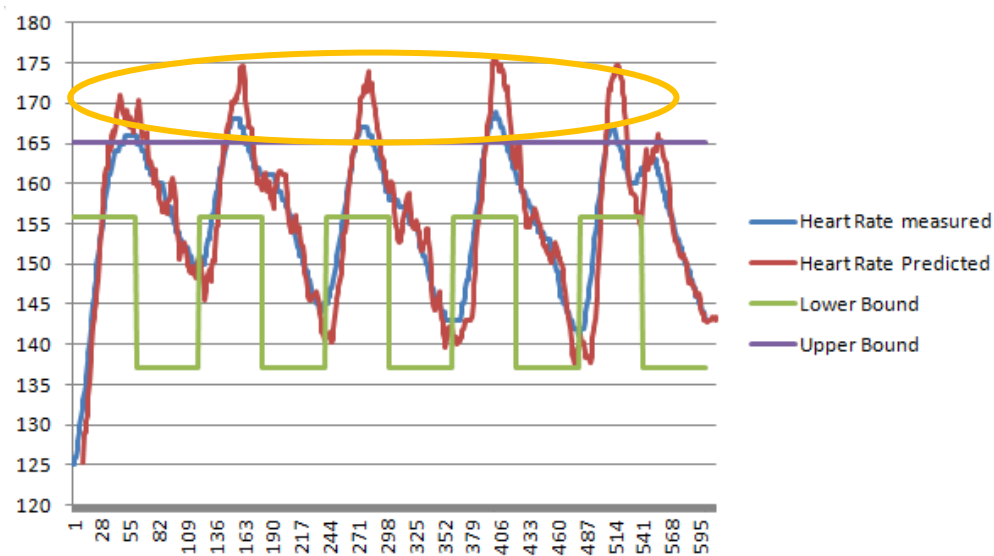
การลดระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายลง เพื่อให้การออกกำลังกายสามารถไปได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้นและป้องกันไม่ให้เกิดการที่ชีพจรจะพุ่งสูงเกินไป ในกราฟที่ 2 นั้น เป็นช่วง Interval ที่ 2 ของการออกกำลังกาย ซึ่งชีพจรนั้นอยู่ที่ 142 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจึงทำการปรับการออกกำลังกายจากท่า High Knees ระดับที่ 5 (ระดับสูงสุดของท่าออกกำลังกายนี้) ลงมาเป็นท่า High Knees ระดับที่ 2 โปรแกรมจะหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนท่าออกกำลังกายใน Interval หนึ่งๆ เพื่อไม่ให้ผู้ใช้เกิดความสับสนหากไม่จำเป็น

ในกราฟที่ 3 เป็นการออกกำลังกายในช่วงเวลา 2 Intervals ในลักษณะเดียวกัน สังเกตว่า ณ วินาทีที่ 166 ชีพจรอยู่ที่ 166 ซึ่งอยู่ในช่วงชีพจรที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจึงเปลี่ยนการออกกำลังกายจากท่า Jumping Lunges ระดับที่ 5 (ระดับสูงสุดของท่าออกกำลังกายนี้) มาเป็นการออกกำลังกายในท่าเดิม แต่เป็นระดับที่ 2 ตลอดช่วงเวลา 14 วินาทีที่เหลือใน Active Interval นั้น ส่วนใน Active Interval ถัดมานั้น จะเห็นได้ว่า ชีพจรขึ้นถึงระดับที่ต้องการหลังจากเวลาผ่านไป 14 วินาที โปรแกรมก็ได้ลดความเข้มข้นของการออกกำลังกายในท่า High Knees จากระดับ 5 ลงมาเป็นระดับที่ 2 เช่นกัน ซึ่งทั้งกราฟที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมชีพจรในสถานการณ์ดังกล่าว

สถานการณ์ที่ 3: การที่โปรแกรมลดระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายเพื่อลดชีพจรลง ในกรณีที่คาดการณ์ว่าชีพจรจะขึ้นสูงกว่าช่วงระดับที่ต้องการ ในอีก 10 วินาทีข้างหน้า



กราฟ 4: กราฟแสดงชีพจรและการคาดการณ์ชีพจรในระหว่างการออกกำลังกายแบบ Aerobic เป็นเวลา 5 นาที



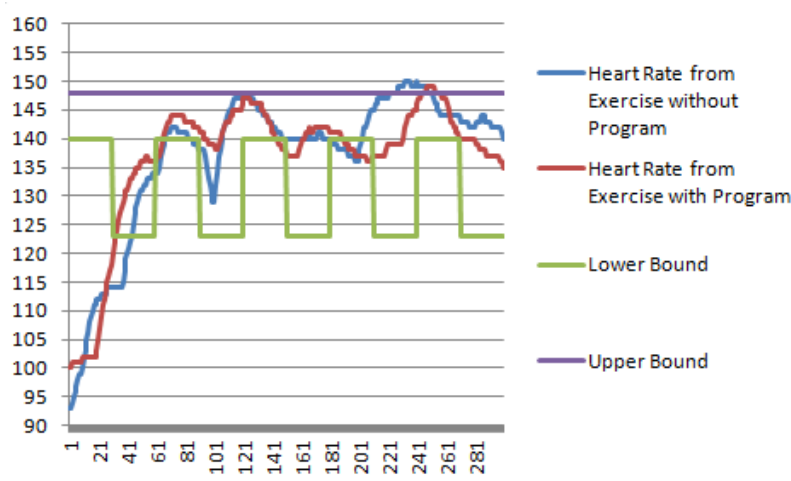
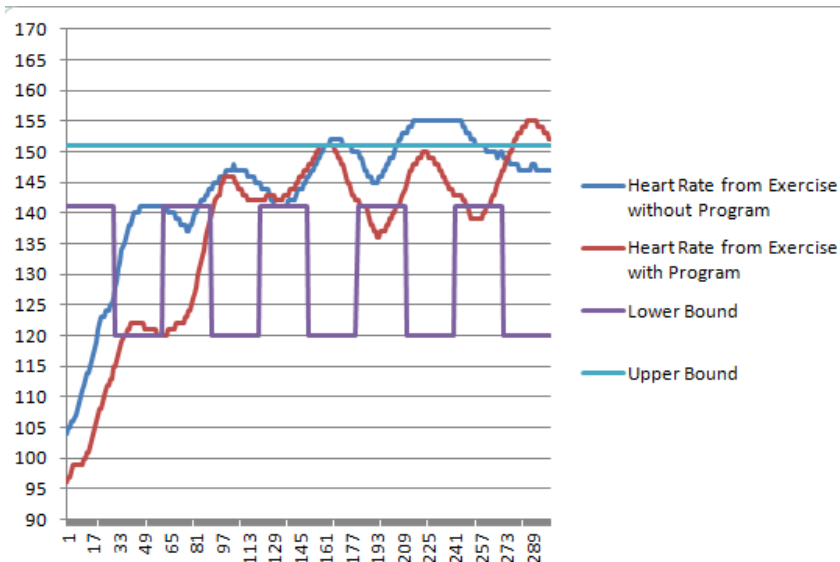
กราฟ 5: กราฟแสดงชีพจรและการคาดการณ์ชีพจรในระหว่างการออกกำลังกายแบบ Interval Training เป็นเวลา 10 นาที

กรณีที่มีการคาดการณ์ว่าชีพจรจะเพิ่มขึ้นจนสูงกว่า Upper Bound ของช่วงชีพจรที่ต้องการ ระหว่างที่อยู่ใน Active Interval โปรแกรมจะทำการปรับความเข้มข้นของการออกกำลังกายลง เพื่อคุมไม่ให้ชีพจรเพิ่มขึ้นสูงเกินไป และหากชีพจรนั้นพุ่งสูงเกินระดับที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะหยุดการออกกำลังกาย จนกว่าระดับชีพจรจะลดลงมาจนถึงระดับที่สามารถออกกำลังกายต่อได้

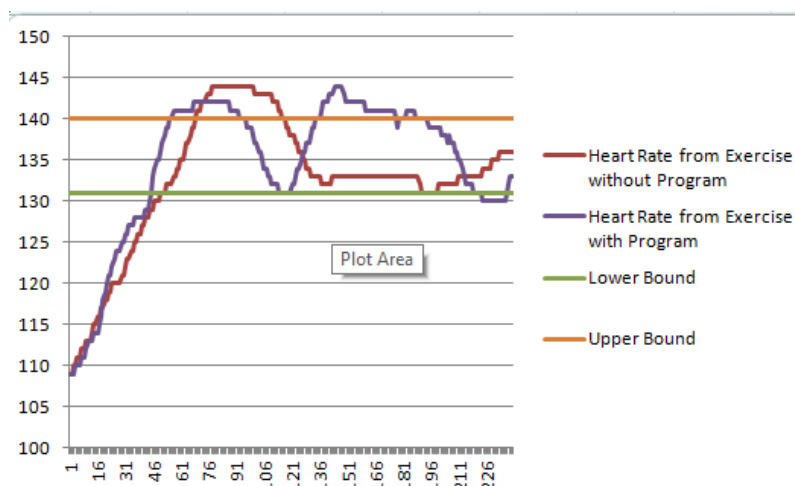
ในกราฟที่ 4 เป็นการออกกำลังกายแบบ Cardio Training ซึ่งโปรแกรมจะพยายามรักษาชีพจรให้อยู่ในช่วงที่คงที่ เมื่อมีการคาดการณ์ว่าชีพจรจะพุ่งสูงเกินไป โปรแกรมจะสั่งให้มีการออกกำลังกายในระดับที่เบา เช่น jogging ใน Intensity 1, jumping jack ใน intensity 1 หรือการหยุดนิ่ง ดังนั้น ชีพจรจริงของผู้ออกกำลังกายจึงสามารถรักษาระดับอยู่ในช่วงที่ต้องการได้

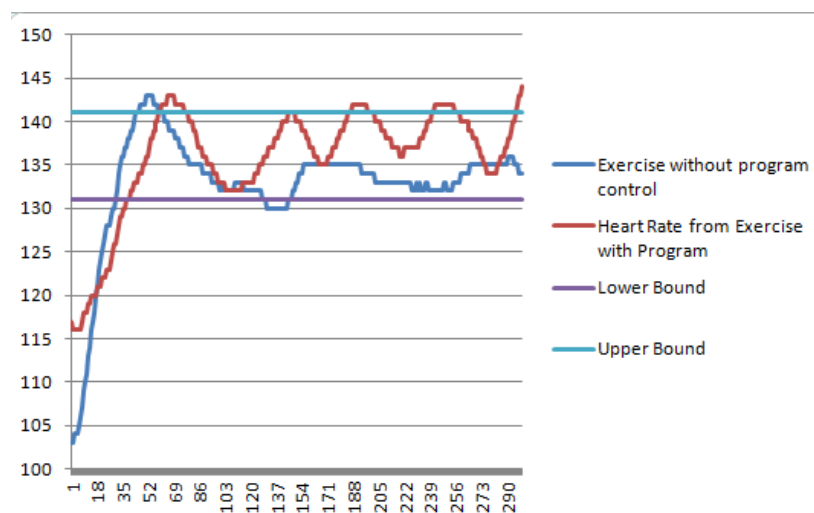
ในกราฟที่ 5 เป็นการออกกำลังกายแบบ Interval Training ซึ่งโปรแกรมจะทำการลดระดับการออกกำลังกายลงมา เพื่อคุมไม่ให้ชีพจรพุ่งสูงเกินไป โดยพยายามไม่ให้มีการเปลี่ยนท่าออกกำลังกายใน Interval เดียวกัน เช่น ใน Active Interval ที่ 3 (วินาทีที่ 241-300) มีการเปลี่ยนความเข้มข้นของการออกกำลังกายท่า jumping lunges จากระดับ 5 เป็นระดับที่ 2 ส่วนใน Active Interval ที่ 4 (วินาทีที่ 361-420) มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของการออกกำลังกายท่า High Knees จากระดับที่ 5 ลดลงมาเรื่อยๆ จนเป็นระดับที่ 1 ก่อนจะเข้าสู่ Rest Interval ซึ่งแม้จะมีการพุ่งเกินของชีพจรในกรณี ก็ไม่เกิน 4 ครั้งต่อนาที และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ออกกำลังกายแต่อย่างใด

การทดลองที่ 2: เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมกับประสิทธิภาพในการควบคุมชีพจรโดยตัวผู้ออกกำลังกายเอง



กราฟสองกราฟด้านบนเป็นกราฟที่แสดงชีพจรระหว่างการออกกำลังกายแบบ High-intensity Interval ซึ่งเป็นการออกกำลังกายในรูปแบบที่ชีพจรมีแนวโน้มที่จะพุ่งขึ้นสูงเกินไป ซึ่งชีพจรที่วัดได้จากการออกกำลังกายตามโปรแกรมนั้น เป็นไปได้ตามเป้าหมาย และสามารถรักษาระดับของชีพจรไม่ให้มากเกินไปจนอันตราย ในตัวอย่างแรกนั้น โปรแกรมทำงานได้ดีกว่าการที่ผู้ออกกำลังกายพยายามคุมชีพจรด้วยตนเอง โดยที่ช่วงเวลาที่ชีพจรเกินระดับที่ต้องการขึ้นไบนั้นมีน้อยกว่า ส่วนในกรณีด้านล่าง เนื่องจากผู้ออกกำลังกายสามารถควบคุมการออกกำลังกายของตนเองได้ดี จึงให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทำงานของโปรแกรม





กราฟทั้งสองกราฟนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างชีพจรที่วัดได้จากการออกกำลังกายโดยมีโปรแกรมและไม่
มีโปรแกรมในการออกกำลังกายรูปแบบ Aerobic ซึ่งเห็นได้ชัดว่า ในกรณีที่ผู้ออกกำลังกายพยายามควบคุมชีพจร
เอง ชีพจรจะอยู่ที่ช่วงครึ่งล่างของช่วงชีพจรเป้าหมาย เพราะผู้ออกกำลังกายจะกลัวว่าชีพจรจะขึ้นสูงเกินไป ในขณะที่
ที่เมื่อออกกำลังกายตามโปรแกรมแล้ว ชีพจรโดยรวมจะมากกว่า ส่งผลให้เผาผลาญพลังงานได้มากกว่าโดยที่ยัง
สามารถคุมชีพจรให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้

สรุปผล

จากการทดลอง พบว่า Neural Network Predictive Model ที่ได้ออกแบบและพัฒนาสามารถจำลองการ
เปลี่ยนแปลงชีพจรได้อย่างแม่นยำ และสามารถทำนายค่าของชีพจรใน 10 วินาทีถัดไปได้ค่อนข้างแม่นยำ
(ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.787897843) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ระบบ Feedback Control สามารถ
ควบคุมชีพจรให้อยู่ใน Range ที่ต้องการได้ ทำให้ออกกำลังกายสามารถออกกำลังกายได้ตามที่ต้องการและมีความ
ปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้พัฒนาโครงการขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้ที่ช่วยเสนอเป็นผู้ทดลองระบบ และช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมมีความถูกต้องสมบูรณ์: นายพิรพล เหมะเหม็ง, ดร. ขวัญกมล หนองพงษ์, นายพาวุฒิ สติสุขเสนา, ดร. จิรายุส ภู่มนตรี, ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ, ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ, ดร. สุรพันธ์ เมฆนาวัน, พ.ญ. สุชาดา ตันประเสริฐ ขอขอบคุณ พ.ญ. สุชาดา ตันประเสริฐ แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลทหารผ่านศึก ที่ให้คำปรึกษาในด้านความเหมาะสมและความจำเป็นของโครงการ

บรรณานุกรม

1. Stefano Scalzi, Patrizio Tomei, and Critiano Maria Verrelli. **Nonlinear Control Techniques for the Heart Rate Regulation in Treadmill Exercises**. IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 59, No.3 March 2012.
2. Jose A. Bragada, Pedro P. Magalhaes, Catarina S. Vasques, Tiago M. Barbosa and Vitor P. Lopes. **Net Heart Rate to Prescribe Physical Activity in Middle-Aged to Older Active Adults**. Journal of Sports Science and Medicine 8, 2009.
3. Keytel, L. R., J. H. Goedecke, T. D. Noakes, H. Hiiloskorpi, R. Laukkanen, L. van der Merwe, E. V. Lambert. **Prediction of Energy Expenditure from Heart Rate Monitoring During Submaximal Exercise**. Journal of Sport Sciences, March 1st, 2005.
4. Arie Rotstein, Yoav Meckel. **Estimation of %VO₂ Reserve from Heart Rate during Arm Exercise and Running**. Eur J Appl Physiol (2000) 83: 545-550.
5. Landau, I. D.; Lozano, R.; M'Saad, M.; Karimi, A. **Adaptive Control Algorithms, Analysis, and Applications**. Springer London Dordrecht Heidelberg New York. P.1 – 33.
6. Perry, Christopher G.R.; Heigenhauser, George J.F.; Bonen, Arend; Spriet, Lawrence L. (December 2008). **High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle**. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 33 (6): 1112–1123.
7. Gellish, Ronald L.; Goslin, Brian R.; Olson, Ronald E.; McDonald, Audry; Russi, Gary D.; Moudgil, Virinder K. (2007). **Longitudinal Modeling of the Relationship between Age and Maximal Heart Rate**. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39 (5): 822–9.
8. Gulati, M.; Shaw, L. J.; Thisted, R. A.; Black, H. R.; Bairey Merz, C. N.; Arnsdorf, M. F. (2010). **Heart Rate Response to Exercise Stress Testing in Asymptomatic Women: The St. James Women Take Heart Project**. *Circulation* 122 (2): 130–7.
9. Levine, B.D. **VO₂max: what do we know, and what do we still need to know**. Institute for Exercise and Environmental Medicine, Presbyterian Hospital of Dallas, TX 75231. The Journal of Physiology, 2008 Jan 1;586(1):25-34. Epub 2007 Nov 15.
10. Vehrs, P., Ph.D. (2011). **Physical activity guidelines**. In *Physiology of exercise: An incremental approach*. (pp. 351-393). Provo, UT: BYU Academic Publishing.

ประวัติและผลงานวิจัยดีเด่นของผู้พัฒนา

1. น.ส. จูฑารีย์ ตันประเสริฐ

- ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ในโครงการพิเศษภาคภาษาอังกฤษ (English Program) โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
- นักเรียนในโครงการ สอวน. สาขา คอมพิวเตอร์ และได้รับเหรียญทองแดงในการแข่งขันคอมพิวเตอร์โอลิมปิกวิชาการระดับชาติ

2. ด.ญ. อีราพร ตันประเสริฐ

- ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในโครงการพิเศษภาคภาษาอังกฤษ (English Program) โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย

ประวัติของอาจารย์ที่ปรึกษา

1. อ. (นางสาว) จิตสุภัค ตันติเกษตรกิจ

อาจารย์ประจำ English Program โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย

132/11 ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400

โทรศัพท์ 02-279-1992, 02-279-2429, 02-279-2638

อีเมล moe_natsu@hotmail.com

ลายเซ็น

ประวัติ

การศึกษา ปริญญาตรี สาขานาฏศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร พ.ศ. 2550

ปริญญาโท สาขาศิลปการละคร คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552

ความเชี่ยวชาญ การละคร ศิลปการแสดง ทัศนศิลป์การละคร วรรณกรรมการละคร

2. ผศ. ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ

หัวหน้าภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และผู้อำนวยการหลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ระดับปริญญาเอก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

592 ซอยรามคำแหง 24 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

โทรศัพท์ 02-300-4543..53 ต่อ 3680

โทรสาร 02-719-1639

อีเมล t_tanprasert@yahoo.com

ลายเซ็น

ประวัติ

ACADEMIC RANK : Assistant Professor (since July 17, 2001)

EDUCATION

Doctor of Philosophy (Computer Engineering), May 1993

University of Louisiana at Lafayette, U.S.A

Master of Science in Computer Engineering, December 1989

University of Louisiana at Lafayette, U.S.A

Bachelor of Engineering (Electrical Engineering), 1987

Chulalongkorn University, Bangkok, THAILAND

WORK EXPERIENCES

- **Head of the Department of Computer Science,** Faculty of Science and Technology, Assumption University, THAILAND, June 2009 - present.
- **Director of the Doctor of Philosophy Program in Computer Science,** and **Director of Parallel and Distributed Computing Research Laboratory,** Faculty of Science and Technology, Assumption University, THAILAND, June 2001 - present.
- **Head of the Department of Computer Science,** Faculty of Science and Technology, Assumption University, THAILAND, June 2001 – June 2004.

- **Head of the Department of Computer Science** and **Director of the Master Degree Program in Computer Science**, Faculty of Science and Technology, Assumption University, THAILAND, June 1994 – May 2001.
- **Deputy Director of Assumption University Center for Systems Development**, Assumption University, THAILAND, June 1994 - March 1995.
- **Assistant professor**, The Center for Advanced Computer Studies, University of Southwestern Louisiana (University of Louisiana at Lafayette), USA, June-July 1993.
- **Part-time instructor**, Department of Computer Science, University of Southwestern Louisiana (University of Louisiana at Lafayette), USA, June-July 1992
- **Laboratory Assistant**, Research Laboratory, The Center for Advanced Computer Studies, University of Southwestern Louisiana (University of Louisiana at Lafayette), USA, January 1991 - May 1993.
- **Research Assistant**, The Center for Advanced Computer Studies, University of Southwestern Louisiana (University of Louisiana at Lafayette), USA, January - May 1990.

FIELDS OF RESEARCH

- Computational Intelligence, particularly the learning algorithms and application aspects of neural network computation
- Distributed and Parallel Computing, Programming, and Architecture
- VLSI Design Automation