

รายงานการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน

CERN Summer Student Programme 2019

ระหว่างวันที่ 3 มิถุนายน - 23 สิงหาคม 2562

ณ เซิร์น กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

นายปฐมพร พยุงความดี

ปริญญาโท ชั้นปีการศึกษาที่ 1

ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล



คำนำ

รายงานฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ประจำปี พ.ศ. 2562 (CERN Summer Student Programme 2019) ณ องค์การวิจัยนิวเคลียร์ยุโรป กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส เนื้อหาของรายงานฉบับนี้จะมีรายละเอียดการเรียน การอบรมเชิงทฤษฎี ไปจนถึงการบรรยายด้านการทดลอง บันทึกประจำวัน รวมไปถึงรายงานผลการศึกษาในช่วงฤดูร้อน โดยข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายปฐมพร พยุงความดี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ามีความซาบซึ้งในพระมหากรุณาธิคุณของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงพระราชทานโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ในปี พ.ศ. 2562 (CERN Summer Student Programme 2019) ข้าพเจ้าจะนำสิ่งที่ได้เรียนรู้และประสบการณ์จากการทำงานร่วมกับนักวิจัย มาประยุกต์ ต่อยอดและปรับใช้เพื่อพัฒนาประเทศชาติต่อไปในภายภาคหน้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และทักษะในการทดลองทั้งด้านคอมพิวเตอร์และทฤษฎีแก่ข้าพเจ้า รวมไปถึงอาจารย์ที่กลุ่มวิจัย Space Physics โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วฤทธิ มิตรธรรมศิริ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าที่คอยให้คำสั่งสอนและให้คำแนะนำต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) อาจารย์ ดร.นรพัทธ์ ศรีมันโนภาษ และคุณ Eszter Badinova ที่คอยติดต่อประสานงานให้กับนักศึกษาในโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น อีกทั้งให้คำแนะนำตั้งแต่การเตรียมตัว รวมไปถึงจนถึงคอยแนะนำให้ความรู้ในขั้นตอนต่าง ๆ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณกลุ่มวิจัยของข้าพเจ้าขณะอยู่ที่เซิร์น อันประกอบด้วย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานของข้าพเจ้า คือ Marcel Andre Schneider, Kaori Maeshima และ Javier Fernandez รวมไปถึง Francesco Fiori หัวหน้ากลุ่มวิจัยที่คอยให้ความรู้และให้ความช่วยเหลือในการค้นคว้าเรื่องต่าง ๆ

สารบัญ

คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเชิร์น ประจำปี พ.ศ. 2562	1
1.1 การเยี่ยมชมสถานที่	1
1.2 การอบรมภาคบรรยาย	1
1.3 การอบรมเชิงปฏิบัติการ	3
1.4 การนำเสนอผลงาน	4
บทที่ 2 โครงการที่ทำร่วมกับเชิร์น	5
2.1 เครื่องตรวจจับอนุภาค CMS	5
2.2 ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพข้อมูล	7
2.3 เครื่องมือส่วนขยายในการช่วยควบคุมคุณภาพข้อมูล	8
2.4 ผลการศึกษา	8
บทที่ 3 บันทึกประจำวัน	11
บทที่ 4 ประสพการณ์และข้อเสนอแนะ	32
บทที่ 5 การขยายผลโครงการ	33
บทที่ 6 ประวัติโดยย่อของผู้เขียน	34
ภาคผนวก (รายงานเชิงเทคนิค ฉบับภาษาอังกฤษ)	35

บทที่ 1

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเชิร์น ประจำปี พ.ศ. 2562

1.1 การเยี่ยมชมสถานที่

1.1.1 เครื่องตรวจวัดอนุภาค CMS

CMS เป็นเครื่องตรวจจับอนุภาคขนาดใหญ่ ที่มีการออกแบบมาเพื่อค้นหาอนุภาคชนิดใหม่ และสถานะเสถียรของอนุภาคมูลฐานที่ประกอบกัน เพื่อตอบคำถามด้านรากฐานทางฟิสิกส์และความเข้าใจในด้านทฤษฎีทางฟิสิกส์ สำหรับทำความเข้าใจธรรมชาติของอนุภาคมูลฐาน โดยมีการตรวจวัดอนุภาคที่มีอันตรกิริยาของแม่เหล็กไฟฟ้า และอันตรกิริยาแบบ strong สำหรับอนุภาคหนัก โดยจะแบ่งเป็นส่วนของชั้นต่าง ๆ เหมือนหัวหอม จุดแข็งที่สุดของเครื่องตรวจจับอนุภาคนี้ เป็นส่วนของ Muon Chamber ที่มีหน้าที่ตรวจจับอนุภาคมิวออนโดยตรง



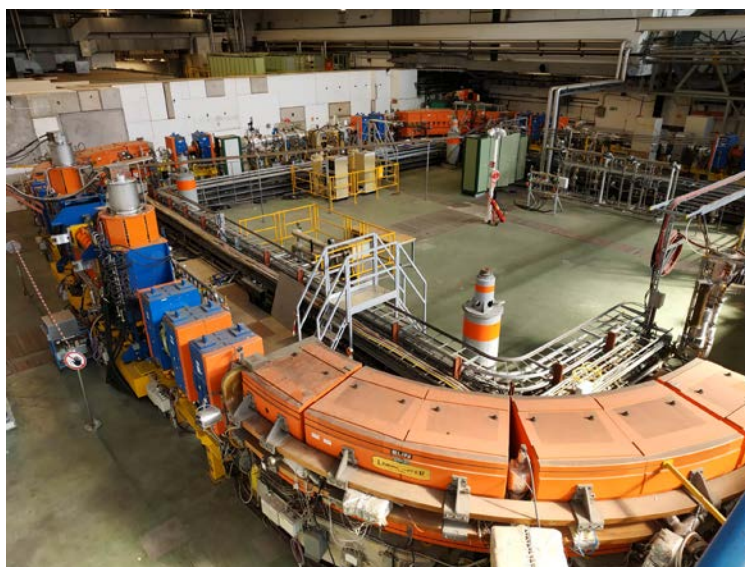
เครื่องตรวจจับอนุภาค CMS

1.1.2 โรงงานผลิตปฏิสสาร Antimatter Factory

โรงงานผลิตปฏิสสารมีภารกิจหลักที่จะผลิตคู่ปฏิอนุภาคของโปรตอนในสถานะที่เก็บไว้และนำไปใช้ได้ ซึ่งมีความท้าทายในเรื่องของการออกแบบทางวิศวกรรม และความเข้าใจทางด้านฟิสิกส์ของอนุภาคมูลฐานที่ต้องทำนาย และวัดผลได้อย่างแม่นยำว่าจะได้ปฏิอนุภาคออกมาจริง ๆ โดยหลัก ๆ แล้วปฏิอนุภาคจะมีสมบัติเช่นเดียวกับอนุภาคคู่ของมัน แต่มีสมบัติบางอย่างที่ตรงกันข้าม คือ ประจุ และเลขทางควอนตัม การผลิตอนุภาคเริ่มต้นจากการผลิตคู่ของอนุภาค-ปฏิอนุภาค จากนั้น ปลอ่ยให้วิ่งในสนามแม่เหล็กจะพบว่าอนุภาคจะม้วนเป็นวงกลมในทิศทางที่ตรงกันข้ามในรัศมีความโค้งที่มีค่าเท่ากันพอดี



อาคารภายนอกของโรงงานผลิตปฏิสสาร



บรรยากาศภายในโรงงานผลิตปฏิสสาร

1.2 การอบรมภาคบรรยาย

การอบรมภาคบรรยายจัดขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 กรกฎาคม – 2 สิงหาคม พ.ศ. 2562 โดยเนื้อหาจะครอบคลุมตั้งแต่ด้านทฤษฎีและการทดลอง โดยไล่จากพื้นฐานทางฟิสิกส์แล้วค่อย ๆ ลึกลงไปเรื่อย ๆ ในรากฐานของควอนตัมฟิสิกส์ โดยสิ่งที่ข้าพเจ้าประทับใจในการอบรมภาคบรรยาย คือ ผู้บรรยายจะเริ่มต้นด้วยคำถามต่าง ๆ ที่เคยเกิดขึ้นและค่อย ๆ บรรยายไล่ไปตามประวัติศาสตร์หรือช่วงเวลาที่นักวิทยาศาสตร์ในยุคต่าง ๆ ค่อย ๆ หาคำตอบ เพื่อที่จะเข้าใจพฤติกรรมของอนุภาคมูลฐาน รวมถึงการจัดชั่วโมงเรียน แต่ละรายวิชาอย่างเหมาะสม คือ เรียงวิชาจากง่ายไปยาก และคำถามจากอดีตมาคำถามในปัจจุบัน โดยในหนึ่งวันจะมีการเรียนสามวิชา วิชาละ 40 นาที ซึ่งจะมีเวลาสำหรับการถามคำถามและพักเป็นเวลาล้าน ๆ เพื่อส่งผ่านให้วิชาถัดไป

เนื้อหาหลักในการบรรยายจะประกอบไปด้วยสิ่งจำเป็นที่นักฟิสิกส์จำเป็นต้องรู้ ซึ่งจะเป็นเครื่องมือในการศึกษาค้นคว้าต่อไปในอนาคต นั่นคือพื้นฐานทางด้านสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลและตีความข้อมูล รวมไปถึงการปูพื้นฐานควอนตัมฟิสิกส์และฟิสิกส์ของสนามใหม่ในช่วงเวลาอันสั้น จากนั้นจะยกตัวอย่างผลการทดลองที่มีการนำความรู้พื้นฐานไปใช้ รวมไปถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ นอกจากนี้จะมีด้านทฤษฎีแล้ว ยังมีการบรรยายด้านการทดลองที่มีความน่าสนใจมาก ๆ โดยเริ่มต้นจากประวัติศาสตร์ของการค้นพบอนุภาค ช่วงเวลาที่ผู้บุกเบิกศาสตร์ของการตรวจวัดอนุภาค เครื่องเร่งอนุภาค และเทคโนโลยีที่พัฒนาไปพร้อม ๆ กับการค้นพบสิ่งใหม่ ๆ ทางด้านฟิสิกส์

1.3 การอบรมเชิงปฏิบัติการ

การอบรมการใช้เทคโนโลยีเพื่อการคำนวณแบบขนาน โดยบริษัท IBM

บริษัทเอกชนที่มีนามว่า International Business Machines Corporation (IBM) มีความร่วมมือกับหน่วยงานย่อยของเซิร์น ที่มีนามว่า CERN Openlab ในด้านฮาร์ดแวร์ และมีบุคลากรผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ด้านจัดการอบรมเพื่อให้ความรู้แก่บุคลากร นักศึกษา และผู้สนใจในหน่วยงานเซิร์น

นอกจากนั้นแล้ว เป็นครั้งแรกที่ข้าพเจ้าได้เข้ามาใน CERN Computing Center ซึ่งมี Computer Cluster จำนวนมหาศาล ซึ่งถ้านับรวมจำนวน CPU แล้วถือว่าเป็นหนึ่งในศูนย์การคำนวณคอมพิวเตอร์ที่มีศักยภาพการคำนวณสูงที่สุดแห่งหนึ่งในโลก ข้าพเจ้าได้รับความรู้เรื่องการใช้งานอุปกรณ์ที่ช่วยให้การคำนวณแบบขนาน ซึ่งทำให้เราสามารถประมวลผลงานได้ที่ละมาก ๆ ในช่วงเวลาอันสั้น ทำให้ข้าพเจ้าได้ผลการจำลองหรือผลการคำนวณที่เร็วขึ้น



คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เครื่องเก่าที่ถูกปลดระวางแล้ว

1.4 การนำเสนอผลงาน

กลุ่มวิจัยของ CMS

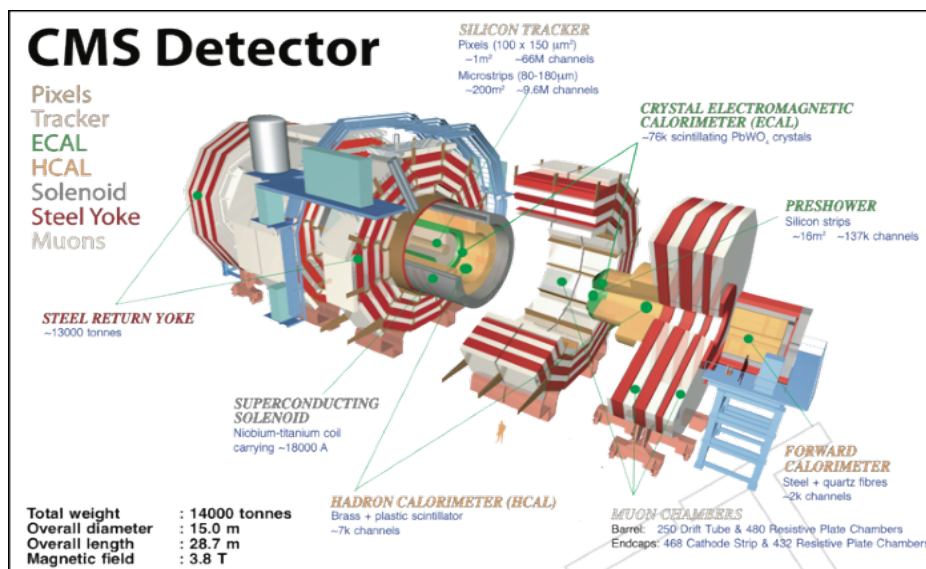
ข้าพเจ้ารู้สึกดีแต่ก็รู้สึกประหม่าไม่น้อยที่ได้มีโอกาสนำเสนอผลงานในกลุ่มวิจัยหลักของ CMS และรู้สึกขอบคุณที่อาจารย์ ดร.นรพัทธ์ ได้ติดต่อและแนะนำให้ข้าพเจ้ามีโอกาสได้เสนอผลงานในครั้งนี้ ในการนำเสนอผลงานของข้าพเจ้า การนำเสนอผลงานในครั้งนี้ใช้เวลาประมาณ 20 นาที ผลตอบรับของการนำเสนอผลงานค่อนข้างเป็นไปในทางที่ดี ซึ่งข้าพเจ้าสังเกตได้จากคำถามของผู้เข้าร่วมฟังนั้นมีความน่าสนใจ แต่ละคำถามที่ผู้ถามได้ซักถามนั้น ทำให้ข้าพเจ้าทราบว่าผู้ฟังมีความเข้าใจในเนื้อหาที่ข้าพเจ้ากล่าวไปไม่มากนักน้อย นอกจากนี้ ยังได้รับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างมาก สามารถนำไปปรับใช้ในการพัฒนาเนื้อหาของข้าพเจ้าในอนาคตให้ดีขึ้นต่อไปได้

บทที่ 2

โครงการที่ทำร่วมกับเซิร์น

โครงการที่ข้าพเจ้ามีส่วนร่วมทำกับกลุ่มวิจัยของเครื่องตรวจจับอนุภาค Compact Muon Solenoid (CMS) ซึ่งเป็นหน่วยการควบคุมคุณภาพข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยหน้าที่หลักของข้าพเจ้าคือต้องทำความเข้าใจตั้งแต่ส่วนประกอบหลักและส่วนประกอบย่อยของเครื่องตรวจจับอนุภาคของ CMS ว่าส่วนต่าง ๆ นั้นทำหน้าที่อย่างไร เช่น ระบบการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ การประมวลผลข้อมูลแบบออฟไลน์อย่างคร่าว ๆ รวมไปถึงขั้นตอนการเก็บข้อมูลในภาพรวม เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงระบบในองค์กรรวมถึงตั้งแต่การเก็บข้อมูล ไปจนถึงมือผู้ใช้งาน นั่นคือนักฟิสิกส์สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ต่อไป

2.1 เครื่องตรวจจับอนุภาค CMS

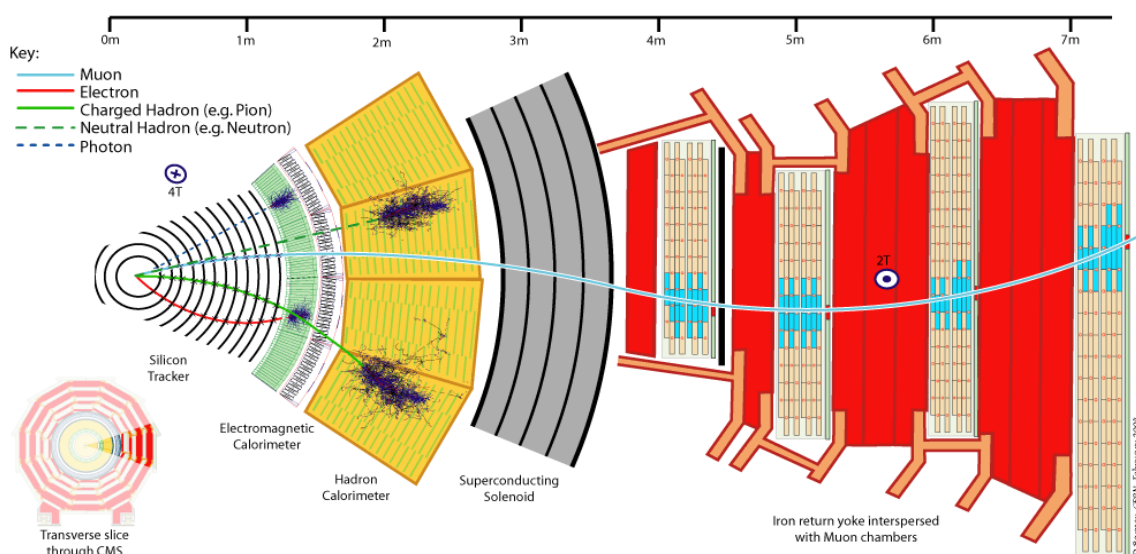


แผนภาพโครงสร้างของเครื่องตรวจจับอนุภาค CMS

ที่มา: Jérôme Daguin, Evaporative CO₂ cooling system for the upgrade of the CMS pixel detector at CERN - Scientific, ResearchGate

เครื่องตรวจจับอนุภาค CMS จะมีส่วนประกอบย่อยที่มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดยแต่ละส่วนย่อยของเครื่องวัดจะมีทีมผู้พัฒนาที่เป็นผู้เชี่ยวชาญที่คอยดูแลแต่ละชิ้นส่วนโดยเฉพาะ หัวใจหลักของการทำงานนั้นจะเริ่มจากจุดที่เกิดการชนกันของอนุภาค ที่ใจกลางท่อทรงกระบอกของเครื่องวัดซึ่งมีขนาดเล็กมาก ๆ ถ้ามองในมุมของอนุภาคแล้ว เครื่องวัดจะมีลักษณะแนวยาวและแนวขวางอยู่ทั้งสองด้านของอนุภาคนั้นเอง

การตรวจจับอนุภาค ถ้าเรียงลำดับจากมุมมองของอนุภาคย่อยหลังจากชนกันที่ใจกลางแล้ว มุมมองของอนุภาคย่อยหลังจากการชนที่วิ่งไปนั้นจะเจอกับ Pixels เป็นอย่างแรก ซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้น (Trigger) สัญญาณตัวแรก จากนั้นอนุภาคที่มีประจุจะสามารถวัดได้โดยสัญญาณของ Tracker ซึ่งเป็นซิลิกอน (Silicon) ที่เป็นแผ่นวางในระนาบตามขวางของลำอนุภาคที่ถูกยิงในตอนแรก ทำให้เครื่องสามารถวัดอนุภาคที่มีประจุที่เลี้ยวเบนในสนามแม่เหล็กอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นจะไปพบกับเครื่องวัดพลังงานแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) ที่มีหน้าที่วัดพลังงานของอนุภาค โดยแบ่งตามประเภทอันตรกิริยาที่อนุภาคเลือกกระทำกับเครื่องวัด สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ อันตรกิริยาแบบแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะถูกวัดโดย Electromagnetic Calorimeter และอันตรกิริยาแบบ Strong ที่จะถูกวัดโดย Hadron Calorimeter ซึ่งอนุภาคจำนวนมากจะถูกปล่อยพลังงานและแตกตัวเป็นอนุภาคอื่นเป็นจำนวนมากที่ส่วนนี้ ในส่วนสุดท้ายของเครื่องวัดย่อย คือ เครื่องวัดมิวออน ที่มีหน้าที่วัดมิวออนโดยเฉพาะเป็นเครื่องวัดที่มีขนาดใหญ่มาก และนั่นคือเหตุผลว่าทำไมเครื่องนี้จึงได้มีชื่อว่า Compact Muon Solenoid (CMS)

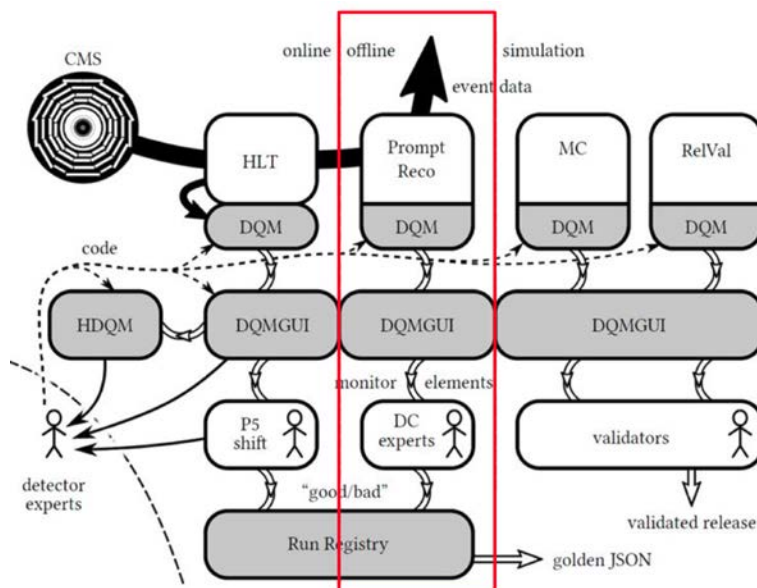


แผนภาพการเดินทางของอนุภาคประเภทต่าง ๆ ที่ถูกตรวจจับโดยเครื่องวัด CMS

ที่มา: European Laboratory for Particle Physics

2.2 ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพข้อมูล

การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่เก็บมาได้จากการทดลอง แบ่งออกเป็นหลัก ๆ ได้สองส่วน คือ ออนไลน์และออฟไลน์ โดยแบ่งจากช่วงเวลาในการตรวจสอบและผลที่ได้ ซึ่งวิธีการตรวจสอบจะมีความแตกต่างกัน รวมไปถึงจนถึงการควบคุมของผู้เชี่ยวชาญในสองส่วนนี้จะเป็นคนละกลุ่มกัน



แผนภาพการทำงานของมอ니터คุณภาพข้อมูล

ที่มา: M. Schneider, CHEP 2018

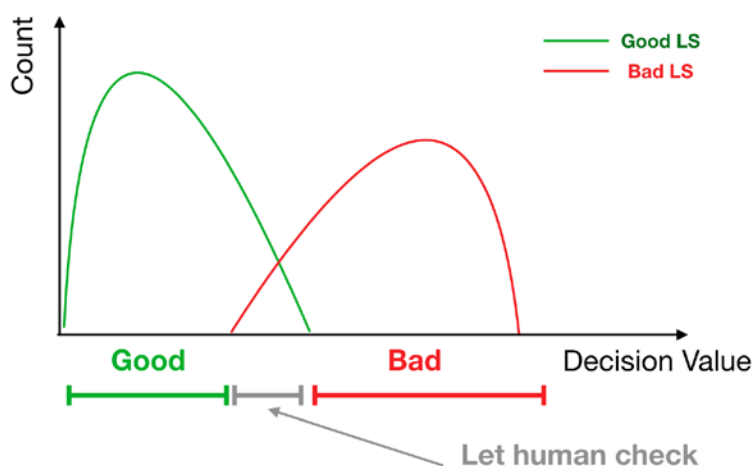
การเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time) นั้นจะถูกตรวจสอบในช่วงเวลาอันสั้น ใช้เวลาที่สั้นมากจนเรียกได้ว่าแทบจะทันทีที่วัดข้อมูลได้ โดยมีห้องที่มีการรายงานผลและมีผู้ตรวจสอบที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จะมีการเปลี่ยนการทำงานกับทีมใหม่ในทุก ๆ 8 ชั่วโมง ที่มีการทำงานของเครื่องวัดอนุภาคเพื่อจะคอยตรวจสอบผลการวัดอย่างคร่าว ๆ ถ้าหากมีอะไรผิดปกติที่ชัดเจนเกิดขึ้น พวกเขาสามารถจะโทรเรียกผู้เชี่ยวชาญในระบบย่อยได้ ในการระบบคุณภาพจะไม่ใช้เฉพาะคนในการระบุคุณภาพของข้อมูลเท่านั้น แต่ CMS ยังมีระบบระบุคุณภาพข้อมูลอัตโนมัติ หากมีความผิดพลาดที่ระบบสามารถตรวจจับได้เอง อย่างเช่น ไม่มีไฟฟ้าไปเลี้ยงในบางส่วนของเครื่องวัด ระบบจำทำการแจ้งเตือนให้ทราบในทันที

หลังจากที่ได้ข้อมูลเบื้องต้นมาแล้วจะมีการตรวจสอบข้อมูลอีกครั้งหนึ่งโดย Data Certification Experts ภายหลังจาก 24 ชั่วโมง ของการเก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบข้อมูลบางอย่างที่ไม่สามารถตรวจสอบได้แบบ Real-time และบันทึกข้อมูลหลังจากที่ระบุคุณภาพข้อมูลก่อนที่จะไปถึงมือนักฟิสิกส์เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

2.3 เครื่องมือส่วนขยายในการช่วยควบคุมคุณภาพข้อมูล

จุดประสงค์หลักของโครงการนี้ คือ จะช่วยลดงานที่ทำโดยมนุษย์ในส่วนของการออฟไลน์ที่เป็นข้อมูลทางฟิสิกส์ การที่จะวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบที่ซ้ำ ๆ ของความผิดพลาดนั้น สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถตรวจวัดรูปแบบของความผิดพลาดที่เป็นผลออกมาจากข้อมูลทางฟิสิกส์ เครื่องมือที่ข้าพเจ้าใช้ในการทำงานครั้งนี้คือการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) โดยเครื่องมือที่ข้าพเจ้าศึกษาจะรับข้อมูลทางฟิสิกส์ จากนั้นจะทำนายค่าความมั่นใจว่าจะเป็นข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่ โดยค่าที่เราจะได้อาจสามารถหาได้จากข้อมูลจำนวนมากที่เก็บไว้แล้วนำมาประมวลผล

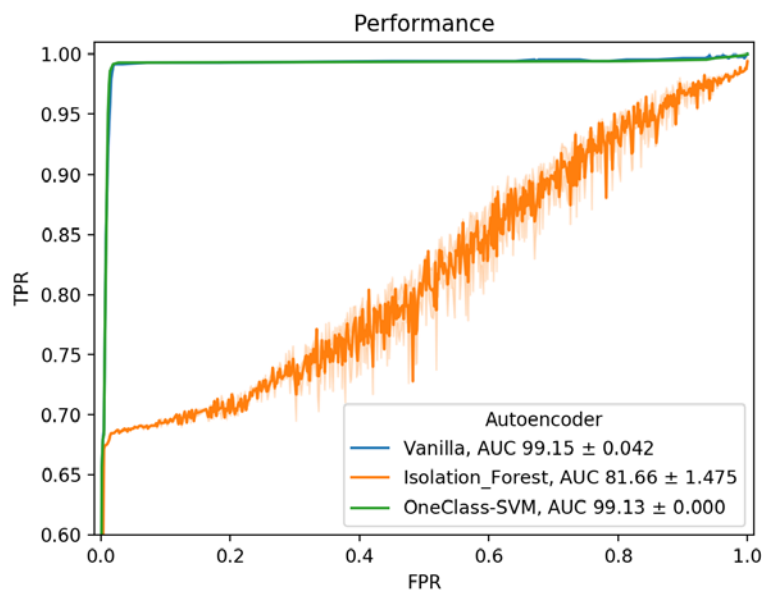
ทางเทคนิคแล้ว ถ้าเราดูการกระจายตัวของค่าที่ใช้ตัดสินคุณภาพข้อมูล จะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ที่จะนำไปค้นหาค่าขอบเขตของแต่ละชนิดต่อไป ซึ่งส่วนที่สำคัญที่สุด คือ บริเวณที่ไม่ชัดเจน หรือ Grey Zone จะเป็นตัวที่ส่งต่อไปให้ Data Certification Experts ตรวจสอบต่อไป ดังนั้น การตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวจะช่วยลดเนื้องาน เนื่องจากระบบจะคัดกรองข้อมูลและผู้ใช้จะดึงเฉพาะข้อมูลที่ไม่ชัดเจนมาใช้วัดการวิเคราะห์เท่านั้น



การกระจายตัวที่เป็นไปได้ตามประเภทของคุณภาพข้อมูล

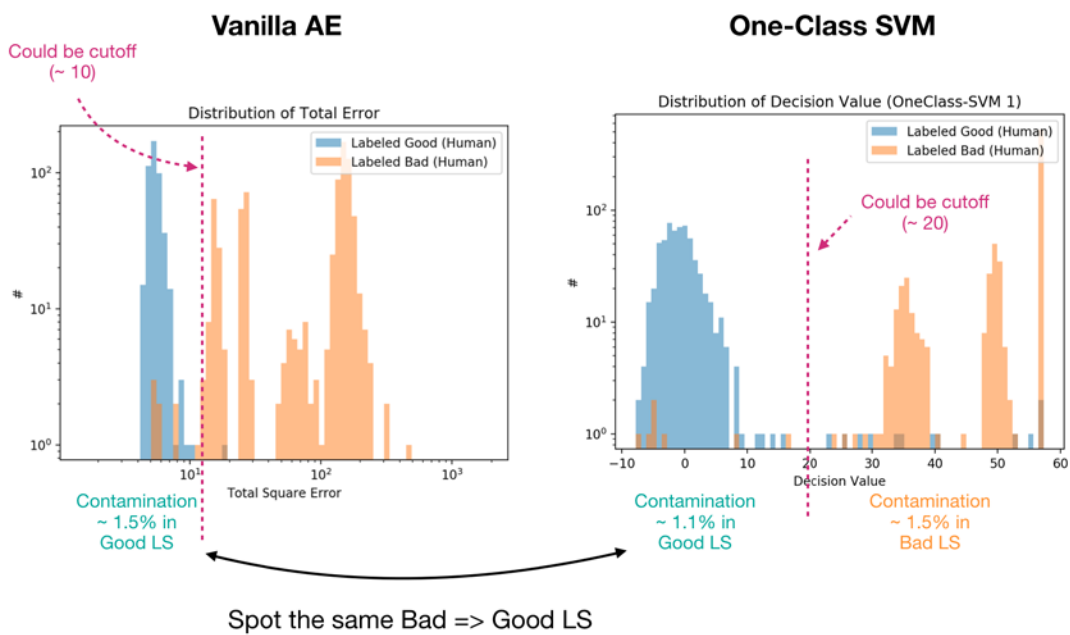
2.4 ผลการศึกษา

การศึกษานี้จะใช้ 3 รูปแบบ โดยเครื่องจักรเรียนรู้แตกต่างกันเพื่อค้นหาเครื่องมือที่ดีที่สุด โดยสามารถวัดคุณภาพของเครื่องจักรเรียนรู้ได้จากการหาความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ของการเปลี่ยนค่าที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพข้อมูลเพื่อวาดกราฟ Receiver Operating Characteristic (ROC) ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟ หรือ Area Under Curve (AUC) จะเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของเครื่องจักรเรียนรู้



กราฟประสิทธิภาพของเครื่องมือแต่ละชนิด

จากผลการศึกษาพบว่า Vanilla Autoencoder (AE) และ One-Class Support Vector Machine (SVM) ให้ผลความแม่นยำได้สูงที่สุดตามลำดับและจะถูกใช้ในการตีความในขั้นตอนต่อไป



การกระจายตัวของคุณภาพข้อมูลของ Vanilla AE และ SVM

เราสามารถดูการกระจายตัวของค่าที่ใช้ตีความเพื่อค้นหาค่าที่จะใช้ระบุขอบเขตได้ แต่ผลการศึกษากลับพบว่าเราไม่พบบริเวณที่ไม่ชัดเจนหรือบริเวณ Grey Zone แต่กลับพบเพียงบริเวณที่ชัดเจนเท่านั้น และยังพบอีกว่าเราสามารถแบ่งข้อมูลที่ไม่ได้ออกได้เป็นหลายระดับอย่างที่เราคาดหวังด้วยกัน โดยแต่ละกลุ่มจะมีรูปแบบซ้ำ ๆ ของสัญญาณที่สามารถตรวจจับได้โดยปัญญาประดิษฐ์

**ผู้เขียนได้สรุปรายงานเชิงเทคนิคทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ฉบับภาษาอังกฤษ*

บทที่ 3

บันทึกประจำวัน

วันอาทิตย์ที่ 2 มิถุนายน 2562

วันนี้คณะนักศึกษาภาคฤดูร้อนเซิร์น ทั้ง 4 คน เดินทางออกจากสนามบินสุวรรณภูมิ โดยเที่ยวบิน QR 837 สายการบินกาตาร์แอร์เวย์ (Qatar Airways) และใช้เวลาระหว่างเปลี่ยนเครื่องที่ท่าอากาศยานนานาชาติฮามัด ประเทศกาตาร์ เมื่อเราถึงเจนีวากลุ่มนักเรียนและอาจารย์พาพวกเราไปเยี่ยมชมสถานที่สวยงามในเมืองเจนีวา

วันจันทร์ที่ 3 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นวันแรกของพวกเราที่เซิร์น ข้าพเจ้าใช้เวลาส่วนใหญ่หมดไปกับงานเอกสารและการจัดการธุรกรรมต่าง ๆ ให้เรียบร้อย เพื่อเตรียมพร้อมเป็นเด็กนักศึกษาเซิร์น นอกจากนั้น เราได้เข้าร่วมกิจกรรมต้อนรับนักศึกษาฤดูร้อนจากทั่วโลก ซึ่งทำให้พวกเราได้มีเพื่อนจากงานนี้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เมื่อถึงช่วงท้ายของวัน ข้าพเจ้าได้เจอกับอาจารย์ที่ปรึกษาโปรเจก เวลาที่เหลือน้อยจึงทำให้เราพูดคุยกันได้ไม่นาน ถึงอย่างไรก็เป็นเรื่องดีที่พบกันวันแรกๆที่ไปถึงเซิร์น

วันอังคารที่ 4 มิถุนายน 2562

วันนี้น่าจะเป็นวันที่ทำงานอย่างเป็นทางการวันแรกของข้าพเจ้า เป็นวันแรกเริ่มอ่านรายละเอียดคร่าว ๆ เกี่ยวกับเครื่องตรวจวัดอนุภาค และเรายังได้รับคำแนะนำด้านเทคนิคจากผู้เชี่ยวชาญจากนอกแลปในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย นอกจากนี้ ข้าพเจ้าซื้อกาแฟถ้วยมาเพื่อเอาไว้ใช้กับเครื่องทำกาแฟเพื่อความสะดวกและประหยัดถูกกว่ามาก

วันพุธที่ 5 มิถุนายน 2562

ข้าพเจ้าตื่นค่อนข้างเช้าเนื่องจากมีคอร์สอบรมที่จัดโดย IBM สำหรับการคำนวณคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยต้องเดินจากที่พักไปเพราะว่าไม่มีรถรับส่งตอนเช้า วันนี้ยังคงเป็นวันที่ข้าพเจ้าเริ่มทำโปรเจกอย่างจริงจังวันแรก เพื่อที่จะวางแผนและขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นระบบ

วันพฤหัสบดีที่ 6 มิถุนายน 2562

หลังจากที่ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมการอบรมการใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงแล้ว ยังได้มีโอกาสได้นำงานของตนเองไปประมวลผล และให้ผลการคำนวณที่เร็วกว่าคอมพิวเตอร์ของตนกว่า 30 เท่า หลังจากนั้นตอนช่วงบ่าย แก้ปัญหาทางเทคนิคเพิ่มเติมต่ออีกจนถึงช่วงเย็น และกลับที่พักไปเพื่อทำอาหารเย็นรับประทาน

วันศุกร์ที่ 7 มิถุนายน 2562

เป็นเช้าวันที่อากาศเย็นสบาย ข้าพเจ้าตื่นเข้ามาทำอาหารเช้าและใส่กล่องไปทานที่ทำงาน ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก เมื่อมาถึงที่ทำงานก็ได้พูดคุยกับที่ปรึกษาโครงการ ตอนช่วงบ่ายมี CMS-DQM meeting ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ทำงานอยู่ และได้แนะนำตัวให้กับกลุ่มวิจัยทราบว่าเราเป็นใครอย่างไร รวมถึงแผนการทำโครงการภาคฤดูร้อน

วันเสาร์ที่ 8 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นวันที่อากาศเริ่มเย็นลงมากและเป็นวันหยุดครั้งแรก ข้าพเจ้าเลยตื่นสายเนื่องจากไม่ได้ตั้งนาฬิกาปลุกและต้องการให้ร่างกายพักผ่อนจากการเหนื่อยล้ามาทั้งสัปดาห์ และได้อ่านหนังสือช่วงบ่ายในช่วงเย็นข้าพเจ้าไปซื้อของเพื่อเป็นเสบียงสำหรับวันอาทิตย์และวันจันทร์ที่เป็นวันหยุด

วันอาทิตย์ที่ 9 มิถุนายน 2562

เนื่องจากฝนตกตั้งแต่เมื่อวานตลอดทั้งวัน ทำให้อากาศในวันนี้ชื้นและเย็นมากโดยมีอุณหภูมิประมาณ 12 องศาเซลเซียส ข้าพเจ้าอ่านหนังสือทั่วไปในช่วงบ่าย และทำสลัดทานครั้งแรกในตอนเย็น

วันจันทร์ที่ 10 มิถุนายน 2562

การหยุดติดกันสามวันทำให้ข้าพเจ้ามีเวลาจัดการทำธุระต่าง ๆ ที่ค้างคาให้เสร็จ เช่น การจัดส่งของจากกระเป๋าเดินทางเข้าตู้เสื้อผ้าให้เรียบร้อยและจัดการเอกสารที่ต้องการทำให้เสร็จ นอกจากนั้นข้าพเจ้าได้ดูซีรีส์เรื่อง Chernobyl เป็นรายการโทรทัศน์ที่อ้างอิงมาจากเนื้อเรื่องของโรงงานนิวเคลียร์ที่เคยเกิดเหตุระเบิด โดยเนื้อเรื่องจะเล่าตั้งแต่ต้นเหตุไปจนถึงผลลัพธ์ที่ประชาชนได้รับ รวมถึงผู้เสียสละ

วันอังคารที่ 11 มิถุนายน 2562

ถึงวันนี้จะเป็นวันทำงานวันแรกของสัปดาห์ แต่ฝนที่ตกก็ไม่ได้มีท่าจะลดลงเลย ทำให้เราต้องตากฝนไปทำงาน แต่โชคดีที่เซิร์นมีบริการรถรับส่ง ทำให้การเดินทางไม่ได้ยากลำบากสำหรับข้าพเจ้า การทำงานสัปดาห์นี้ข้าพเจ้าเริ่มลงมือทำมากขึ้น เทียบกับสัปดาห์ก่อนที่เวลาส่วนใหญ่ใช้ไปกับการศึกษาความรู้พื้นฐาน และนอกจากนั้นยังได้พูดคุยเรื่องโครงการที่ทำกับผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ได้ความรู้ใหม่ ๆ มากยิ่งขึ้น

วันพุธที่ 12 มิถุนายน 2562

แดดอ่อน ๆ ตอนเช้านี้เป็นสัญญาณที่บอกว่าอากาศวันนี้จะอุ่นขึ้น ไม่หนาวเหน็บและเต็มไปด้วยความชื้นจากฝนอย่างวันก่อน ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติและมีเวลาเล็กน้อย จึงมานั่งอ่านหนังสือเล่มโปรดก่อนไปทำงาน วันนี้ได้มีโอกาสไปเยี่ยมชมโรงงานผลิตปฏิสสาร และได้พบการทดลองที่น่าสนใจ เช่น การผลิตปฏิอนุภาคมามากับไว้ใน Vacuum เพื่อสังเกตพฤติกรรมภายใต้แรงโน้มถ่วง



ภาพภายนอกอาคารของโรงงานผลิตปฏิสสาร

วันพฤหัสบดีที่ 13 มิถุนายน 2562

วันนี้เริ่มมีแดดอ่อน ๆ อากาศค่อนข้างดี ข้าพเจ้าไปถึงที่ทำงานเช้ากว่าปกติ จึงนั่งอ่านอีเมลรอที่ปรึกษามาพูดคุยเกี่ยวกับการเสนอรายงานผลงานช่วง 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา กับกลุ่มวิจัยในวันพรุ่งนี้ ในช่วงเย็นก็ได้ทำสัลดเพื่อสุขภาพและนอนอ่านหนังสือเล่มโปรดก่อนนอน

วันศุกร์ที่ 14 มิถุนายน 2562

เมื่อมาถึงห้องทำงาน สิ่งแรกที่ข้าพเจ้าทำคือการแก้สไลด์นำเสนอรายงานการทำงานช่วง 2 สัปดาห์แรก เพื่อประมวลผลและปรึกษาเรื่องทิศทางการทำงานที่ข้าพเจ้าควรต้องทำ ในช่วงท้ายของการนำเสนอ ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำและความเห็นจากกลุ่มวิจัยในเรื่องเทคนิคต่าง ๆ รวมถึงวิธีการทางสถิติที่มีประโยชน์

วันเสาร์ที่ 15 มิถุนายน 2562

เช้าวันนี้ข้าพเจ้าตื่นสายกว่าปกติ เนื่องจากไม่ได้ตั้งนาฬิกาปลุก เพราะต้องการพักผ่อนจากความเหนื่อยล้า ข้าพเจ้าฟังวิทยุช่องโปรดและได้ทำอาหารรับประทานทานกับนักเรียนไทยอีก 2 คนในมื้อค่ำ

วันอาทิตย์ที่ 16 มิถุนายน 2562

เป็นวันอาทิตย์แรกที่อากาศเริ่มอุ่นขึ้น ทำให้รู้สึกสบายตัวกว่าช่วงก่อน ๆ มาก อุณหภูมิที่กำลังดี ข้าพเจ้าตอบอีเมลที่ค้าง ในเรื่องอาหารนั้น ข้าพเจ้าได้ทำสลัดรับประทานเพราะไม่ได้ออกกำลังกายมาหลายวันและกินอาหารที่มีไขมันสูงมาตลอด อาจจะไม่ดีต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงควรรับประทานอาหารที่มีไขมันต่ำบ้าง

วันจันทร์ที่ 17 มิถุนายน 2562

วันนี้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมการสัมมนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับเครื่องตรวจวัดที่ข้าพเจ้าทำงานอยู่ เป็นวันแรก จึงได้มีโอกาสเห็นผลงานของคนอื่นทั้งในภาคส่วนที่คล้ายคลึงกับที่ข้าพเจ้าทำ รวมไปถึงส่วนอื่นที่เราไม่ได้มีพื้นฐานความรู้และประสบการณ์มาก ดังนั้น บางช่วงข้าพเจ้าจึงตามทันบ้างไม่ทันบ้าง เป็นเรื่องปกติของมือใหม่ แต่ในช่วงท้ายได้มีการสอนใช้เครื่องมือการทำงานต่าง ๆ ที่ช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญ

วันอังคารที่ 18 มิถุนายน 2562

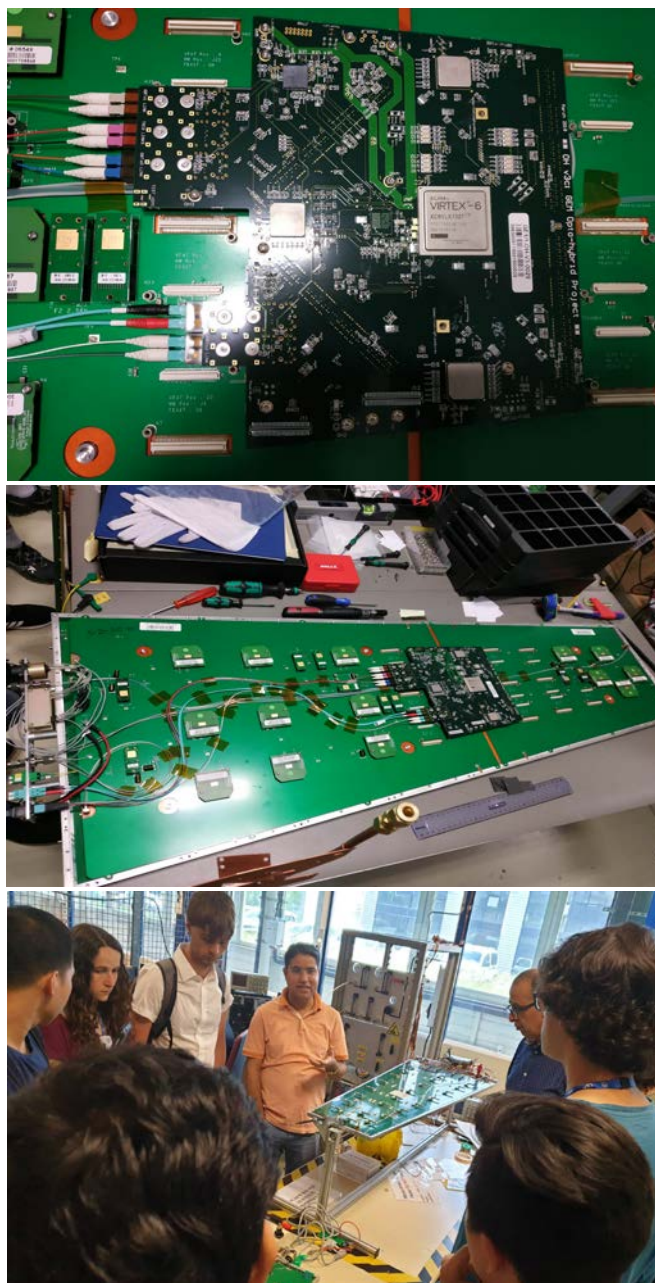
วันนี้เป็นวันที่สองที่ข้าพเจ้าต้องรีบไปแต่เช้า เพื่อไปเข้า Workshop เกี่ยวกับสายงานที่ทำ ถึงแม้ว่าจะเป็นวันที่สองแล้ว แต่ข้าพเจ้าก็ยังรู้สึกว่าการเนื้อหาไม่ทันและไม่ค่อยเข้าใจ เนื่องจากมีความหลากหลายทางด้านงานวิจัยในงานเดียว ส่วนช่วงบ่ายค่อนข้างเป็นเรื่องคล้ายคลึงกับที่ข้าพเจ้ากำลังศึกษา ทำให้ได้ประโยชน์ทางด้านแนวคิดและเทคนิคไม่น้อยเลยทีเดียว

วันพุธที่ 19 มิถุนายน 2562

หลังจากเสร็จ Workshop ของงานด้านปัญญาประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้ในเครื่องตรวจจับอนุภาคแล้ว ข้าพเจ้ายังเข้าร่วมคอร์สพื้นฐานของเครื่องตรวจจับอนุภาคมิวออนที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ด้วย เพื่อเป็นรากฐานในการทำวิจัยและพัฒนาที่เข้มข้นเพื่อไปต่อยอดในอนาคต หลังจากจบงานแล้ว ทำให้ข้าพเจ้าได้เห็นภาพรวมของภาคส่วนต่าง ๆ ซึ่งเป็นคนจากหลากหลายแขนงเลยทีเดียว

วันพฤหัสบดีที่ 20 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นวันที่สองของ Workshop พื้นฐานเครื่องตรวจจับอนุภาค นอกจากข้าพเจ้าจะได้เห็นภาพรวมของเครื่องตรวจจับอนุภาค วันนี้เรายังจะได้เรียนรู้วิธีการในการตรวจจับอนุภาค และการใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ ผสมกับฟิสิกส์มาเพื่อใช้งาน ส่วนช่วงบ่ายก็ได้มีโอกาสไปที่โรงงานประกอบเครื่องวัดพลังงาน จึงได้ความรู้เพิ่มเติมและเห็นภาพมากขึ้น



แผงวงจรและส่วนประกอบภายในของเครื่องวัดอนุภาคแบบแก๊ส

วันศุกร์ที่ 21 มิถุนายน 2562

หลังจากเสร็จ Workshop ของทั้งสัปดาห์แล้ว ข้าพเจ้ารู้สึกว่สัปดาห์นี้โครงการไม่ได้ผลมากเท่าที่ควร จึงรีบไปทำงานแต่เช้าและสรุปผลที่ได้ของสัปดาห์ เพื่อที่จะนำเสนอให้กับกลุ่มวิจัยในช่วงบ่ายของวัน หลังจากนั้นช่วงเย็นมีฝนตกหนักลงมา ทำให้แผนการไปออกกำลังกายของข้าพเจ้าล้มเลิกไป จึงกลับที่พักไปพักผ่อนแทน

วันเสาร์ที่ 22 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าตื่นสายกว่าปกติ หลังจากทำกิจวัตรประจำวันเสร็จในช่วงเช้า ข้าพเจ้าได้คุยกับคุณพ่อคุณแม่ในช่วงบ่ายเกี่ยวกับการความเป็นอยู่ และในช่วงเย็นยังได้ไปร้านอาหารไทยในเมืองเจนีวา กับคนไทยที่เคยทำงานที่เชิร์น หลังจากรับประทานอาหารไทยเสร็จเรียบร้อยแล้ว ข้าพเจ้าก็ได้ซื้อไอศกรีมอิตาเลียนทานระหว่างเดินเท้าไปทะเลสาบเจนีวา เพื่อที่พูดคุยกันกับกลุ่มคนไทยที่ไปรับประทานอาหารเช้าด้วยกัน

วันอาทิตย์ที่ 23 มิถุนายน 2562

ถึงแม้ว่าจะเป็นวันอาทิตย์ แต่วันนี้ข้าพเจ้าก็ตื่นเร็วเหมือนไปทำงานปกติ อาจจะเป็นเพราะว่าความเคยชินระหว่างสัปดาห์ ซึ่งถือเป็นเรื่องที่ดีเนื่องจากจะมีเวลาจัดการธุระต่าง ๆ ของตัวเองมากขึ้นกว่าการตื่นสาย ในช่วงเย็นข้าพเจ้าได้ไปวิ่งในสวนหลังที่พัก และได้ไปเจอสนามบาสเกตบอลที่มีนักศึกษาภาคฤดูร้อนประเทศต่าง ๆ กำลังเล่นอยู่ด้วยกัน เขาจึงชวนข้าพเจ้าร่วมเล่นด้วยเป็นเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง และท้ายสุดของวันก็ได้ทำอาหารไทยคือผัดกะเพราหมูกับนักเรียนไทยอีกสองคน

วันจันทร์ที่ 24 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นวันทำงานวันแรกของสัปดาห์ ตอนเช้าข้าพเจ้าได้เข้าไปทำงานและสรุปผลที่ได้ในช่วงบ่ายของวัน เพื่อเก็บไว้หารือกับกลุ่มวิจัยถึงผลลัพธ์ที่ข้าพเจ้าได้ นอกจากนั้น ในช่วงกลางวันข้าพเจ้าได้พูดคุยกับเพื่อนในกลุ่มวิจัยที่สนใจทำธุรกิจ จึงได้รับความคิดที่น่าสนใจและสร้างสรรค์ เราใช้เวลาเกือบชั่วโมงในการพูดคุยในโต๊ะอาหารกลางวัน หลังจากนั้นช่วงเย็นก็ได้ไปซูเปอร์มาร์เก็ตเพื่อซื้อของเข้าที่พัก ในช่วงท้ายของวันได้ทำอาหารรับประทานเองและยังได้พูดคุยกับนักศึกษาอีกหลายคนที่เพิ่งย้ายเข้ามาใหม่ ทำให้ข้าพเจ้าได้เพื่อนเพิ่มขึ้นในเย็นวันนี้

วันอังคารที่ 25 มิถุนายน 2562

จากพยากรณ์อากาศของสัปดาห์นี้ วันนี้เป็นวันที่ร้อนมากอีกหนึ่งของสัปดาห์ และร้อนที่สุดตั้งแต่ข้าพเจ้ามาอยู่ที่เชิร์น ทำให้ข้าพเจ้าเสียสมาธิในการทำงานไปไม่น้อย เนื่องจากที่ทำงานไม่มีเครื่องปรับอากาศหรือพัดลมเพื่อช่วยคลายร้อนได้ ข้าพเจ้าจึงเลือกใช้วิธีดื่มน้ำเย็นเป็นพัก ๆ ระหว่างวัน ซึ่งหวังว่าจะช่วยทำให้รู้สึกสดชื่นขึ้น วันนี้ข้าพเจ้าได้ลองแสดงผลงานบางส่วนให้ที่ปรึกษาช่วยวิเคราะห์ ส่วนในช่วงเย็นได้ร่วมทำอาหารกับธนัท และเพื่อนชาวต่างชาติที่อาศัยอยู่ชั้นเดียวกัน

วันพุธที่ 26 มิถุนายน 2562

วันนี้ข้าพเจ้าตื่นเช้าพร้อมกับรับประทานอาหารเช้า และได้นั่งรถรับส่งไปทำงานเหมือนทุกวัน ช่วงเช้าข้าพเจ้าได้นั่งพูดคุยแลกเปลี่ยนถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากที่ปรึกษา และเราได้ความเห็นที่ตรงกัน ซึ่งหมายความว่าผลลัพธ์ที่ได้ทั้งทางสถิติและการตีความเชิงคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ ในช่วงบ่ายของวันนี้เป็นอีกวันหนึ่งที่ร้อนมากกว่าปกติ ข้าพเจ้าจึงได้ย้ายโต๊ะทำงานไปนั่งอีกฝั่งเพื่อจะได้รับลมจากพัดลมขนาดยักษ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองของที่ปรึกษาข้าพเจ้า ส่วนในช่วงท้ายของวัน ข้าพเจ้าได้ไปรับประทานอาหารเช้ากับนักศึกษาไทยอีก 2 คน ที่ร้านอาหารใกล้กับที่พัก

วันพฤหัสบดีที่ 27 มิถุนายน 2562

อากาศวันนี้ร้อนมาก เป็นการบังคับให้ข้าพเจ้าลุกขึ้นมาจากที่นอนก่อนเวลาปกติ และทำให้ข้าพเจ้ามีเวลาเหลือพอที่จะทำอาหารเพื่อใส่กล่องไปทานตอนกลางวัน ช่วงเช้าวันนี้ที่ทำงานเริ่มอบอ้าวทำให้ผู้คนดูบางลงกว่าปกติ เพราะย้ายไปทำงานบริเวณที่มีเครื่องปรับอากาศกันหมด ในช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้พูดคุยเรื่องปัญหาทางเทคนิคกับที่ปรึกษาและศึกษาความรู้เพิ่มเติม จากนั้นช่วงเย็นได้ไปเล่นบาสเกตบอลที่สนามใกล้ที่พักและกลับมาทำอาหารเย็นรับประทาน

วันศุกร์ที่ 28 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นสุดสัปดาห์ที่อากาศค่อนข้างร้อนมาก ข้าพเจ้าจึงซื้อไอศกรีมเย็น ๆ มารับประทานเพื่อคลายร้อน ในตอนช่วงเย็นได้มีโอกาสทำอาหารกับนักศึกษาภาคฤดูร้อนประเทศอื่น ที่พักอยู่ชั้นเดียวกัน ทำให้ได้เพิ่มความสัมพันธ์และรู้จักกันมากขึ้น

วันเสาร์ที่ 29 มิถุนายน 2562

วันนี้เป็นที่ข้าพเจ้าได้พักผ่อนจากความเหนื่อยล้ามาทั้งสัปดาห์ ข้าพเจ้าได้ทำอาหารเช้า ต้มกาแฟ และจัดการเก็บของในห้องให้เรียบร้อย ข้าพเจ้าวางแผนการท่องเที่ยวช่วงเดือนสุดท้ายก่อนกลับประเทศไทย และอ่านหนังสือเล่มโปรดในช่วงบ่าย ตกเย็นได้รับประทานอาหารกับเพื่อน ๆ นักศึกษาและคณาจารย์ก่อนเข้านอน

วันอาทิตย์ที่ 30 มิถุนายน 2562

ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติ เนื่องจากวันนี้ข้าพเจ้ามีนัดกับกลุ่มวิจัยเพื่อเดินทางขึ้นเขาและไปยังทะเลสาบชื่อดังแห่งหนึ่งในฝั่งฝรั่งเศส เนื่องจากสัปดาห์นี้เป็นสัปดาห์ที่ร้อนมาก เราจึงนัดกับเพื่อนไปหลบร้อนบนภูเขา เราได้เดินขึ้นชมกับธรรมชาติไปถึงระดับหนึ่ง ได้เห็นฝูงวัวสีน้ำตาลซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของสมาพันธ์รัฐสวิส แต่เราก็ไปไม่ถึงบนยอดเขา เนื่องจากในเวลานั้นมีเมฆก่อตัวค่อนข้างมากและมีโอกาสสูงที่ฝนจะตกลงมา พวกเราจึงตัดสินใจเดินลงจากเขาและเดินทางมาทะเลสาบเพื่อรับประทานอาหารเช้าก่อนกลับที่พัก

วันจันทร์ที่ 1 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่อากาศค่อนข้างร้อน ทำให้ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติเพื่อรับประทานอาหารเช้าและขึ้นรถรับส่งไปทำงาน ช่วงนี้งานของข้าพเจ้าค่อนข้างมีความคืบหน้าไปได้ดี ในช่วงบ่ายมีการประชุมกลุ่มวิจัยที่ทำอยู่ ทำให้ข้าพเจ้าได้อัพเดทความคืบหน้าของทีมงานว่าแต่ละคนมีอะไรมาอัพเดทบ้าง

วันอังคารที่ 2 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่เริ่มเข้าฟังบรรยายครั้งแรก บรรยายภาคในห้องเต็มไปด้วยนักศึกษาประมาณ 200 – 300 คน เรียกได้ว่ามีชีวิตชีวกว่าวันแรกที่ข้าพเจ้ามาถึงอย่างเห็นได้ชัด ข้าพเจ้าได้ฟังการกล่าวเปิดการบรรยายจากตัวแทนของเซิร์น ซึ่งได้รับประโยชน์ไม่น้อยเลยทีเดียว ในช่วงบ่ายไม่มีการบรรยาย ข้าพเจ้าจึงได้กลับไปทำงานที่นั่งประจำที่ตึก 40



บรรยากาศของห้องเรียนภาคบรรยาย

วันพุธที่ 3 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่สองสำหรับการบรรยาย เช้าวันนี้ผู้บรรยายท่านหนึ่งนำเสนอได้อย่างดีเยี่ยม ในความเห็นของข้าพเจ้า เพราะต้องพูดเรื่องที่มีความยากและซับซ้อนให้เข้าใจง่ายขึ้นและไม่ผิดความหมายของทฤษฎีทางอนุภาคฟิสิกส์ จากนั้น ข้าพเจ้าได้เรียนการทำงานของเครื่องตรวจจับอนุภาคเบื้องต้น และสถิติที่ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เนื่องจากเราควรจะใช้คณิตศาสตร์มาคำนวณแทนที่จะใช้ตามองกราฟอย่างเดียว ว่าผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและดีเป็นตัวเลขได้

วันพฤหัสบดีที่ 4 กรกฎาคม 2562

เช้าวันนี้เป็นวันที่อากาศร้อนมากอีกวันหนึ่ง ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติเนื่องจากหลับไม่สบายเท่าที่ควรเพราะที่พักไม่มีพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศ ทำให้ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าจริง ๆ แล้วเราใช้ไฟฟ้าวันหนึ่งมากแค่ไหนขณะอยู่ที่ประเทศไทย ในช่วงเช้าข้าพเจ้าได้เข้าฟังการบรรยายวิชาเดียวกับเมื่อวาน วันนี้ค่อนข้างเป็นไปอย่างรวดเร็ว ข้าพเจ้าได้แต่โอเอเดียวคร่าว ๆ โดยตามไม่เข้าใจในรายละเอียดเชิงลึกในช่วงบ่ายจึงได้กลับไปทำงานของตนเองที่ตึก 40

วันศุกร์ที่ 5 กรกฎาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าเข้าฟังการบรรยายในวิชาเดิม ในช่วงท้ายผู้บรรยายได้ทำการสรุปเนื้อหาให้นักศึกษาทำให้ข้าพเจ้าได้ข้อมูลที่ข้าพเจ้าตามไม่ทันได้มากยิ่งขึ้น ในช่วงบ่ายข้าพเจ้าทำโครงการต่ออีกสองชั่วโมง และได้เข้าร่วมประชุมเพื่อรายงานผลการศึกษาประจำสัปดาห์ในกลุ่มวิจัย ช่วงเย็นข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำอาหารเย็นรับประทานกับเพื่อน ๆ ในที่พักร่วมเดียวกัน เป็นเวลาที่ค่อนข้างดีมาก ๆ หลังจากการทำงานมาทั้งสัปดาห์ เพื่อเป็นการผ่อนคลายโดยการพูดคุยแลกเปลี่ยนกับเพื่อนคนอื่น ๆ

วันเสาร์ที่ 6 กรกฎาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าเดินทางไปเมืองเจนีวา เพื่อเล่นที่ห้างสรรพสินค้ากับเพื่อนชาวบอสเนีย เราได้เดินเท้าไปรอบ ๆ ชายหาด ทานไอศกรีมริมชายหาดกับชมวิวที่มีน้ำพุของเมืองเจนีวา บรรยากาศของทะเลสาบนั้นสวยงามมาก ๆ หลังจากนั้นเราได้ขึ้นชิงช้าสวรรค์เพื่อดูวิวของเมืองจากมุมสูง ถือเป็นวันที่มีความสุขวันหนึ่งของข้าพเจ้า

วันอาทิตย์ที่ 7 กรกฎาคม 2562

เวลาส่วนใหญ่ที่ข้าพเจ้าใช้ไปกับวันอาทิตย์สุดสัปดาห์คือการนอนหลับพักผ่อน ข้าพเจ้าตื่นมาทานอาหารเช้า พูดคุยกับเพื่อนเล็กน้อย และไม่ได้ทำอะไรมากนักนอกจากอ่านหนังสือเล่มโปรด คุยโทรศัพท์กับคุณพ่อและแม่ที่เมืองไทย

วันจันทร์ที่ 8 กรกฎาคม 2562

เข้าสู่สัปดาห์ที่สองแล้วสำหรับการเรียนภาคบรรยาย เนื้อหาที่มีความเข้มข้นขึ้นมากกว่าสัปดาห์ที่แล้ว ทั้งในเรื่องของทฤษฎีและการทดลองที่เจาะลึกลงไปในเรื่องละเอียดตั้งแต่การเตรียมการ การคำนวณและการทดสอบ เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับข้าพเจ้ามาก ๆ ช่วงบ่ายวันนี้ข้าพเจ้าได้นำเสนอผลการศึกษาที่ใช้เวลาประมาณหนึ่งเดือนให้กลุ่มวิจัยฟัง หลังจากนำเสนอเสร็จแล้วได้รับความเห็นและคำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์อย่างมาก

วันอังคารที่ 9 กรกฎาคม 2562

เนื้อหาในการเรียนช่วงเช้าของวันนี้เป็นเรื่องคล้ายคลึงกับเมื่อวาน เพียงแต่ในคาบเรียนสุดท้ายมีการเพิ่มเนื้อหาของการเครื่องเร่งอนุภาคชนิดต่าง ๆ ในเบื้องต้น ทำให้ข้าพเจ้าเห็นภาพว่าเครื่องเร่งอนุภาคมีหลายชนิด ขนาดและความเหมาะสมของการใช้งานที่ต่างกันไปตามจุดประสงค์ของอนุภาคที่เราอยากได้จากเครื่องเร่งอนุภาค ส่วนช่วงบ่ายวันนี้ข้าพเจ้าทำงานจนลืมเวลาทำให้ต้องขึ้นรถโดยสารณะกลับที่พัก ในช่วงเย็นข้าพเจ้าได้ทำอาหารรับประทานกับเพื่อนนักเรียนภาคฤดูร้อนอีกหลายคน ทำให้อาหารที่เราทานมีความหลากหลายขึ้น

วันพุธที่ 10 กรกฎาคม 2562

ในช่วงคาบแรกของเช้าวันนี้มีการบรรยายวิธีการรวบรวมสัญญาณจากเครื่องวัดอนุภาค โดยมีความละเอียดในระดับการออกแบบระบบเก็บข้อมูล วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัดเพื่อจะแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอลไปบันทึกในเครื่องบันทึกผล ส่วนวิชาหลังจากนั้นเป็นภาคทฤษฎีของเครื่องเร่งอนุภาค โดยมีการบรรยายที่ละเอียดมากขึ้นกว่าครั้งก่อน

วันพฤหัสบดีที่ 11 กรกฎาคม 2562

การบรรยายของวันนี้เป็นวิชาเดียวกับเมื่อวานอีกเช่นเคย ในส่วนของการตรวจจับสัญญาณวันนี้ได้มีการบรรยายถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แปลก ๆ ที่ข้าพเจ้าไม่คุ้นเคย ทำให้ตามไม่ทันหลายจุด แต่เป็นวิชาสุดท้ายที่มีการขมวดปมเครื่องเร่งอนุภาคและเป็นวิชาโปรดของข้าพเจ้า เนื่องจากเทคนิคและวิธีการติดตั้งการทดลองมีความน่าสนใจทั้งในด้านทฤษฎีและการสร้างสรรค์ทางวิศวกรรม

วันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม 2562

ในช่วงเช้าของวันนี้มีเพียง 2 วิชาที่เป็นคาบสุดท้าย ได้แก่ เครื่องมือทางทฤษฎีฟิสิกส์และการสังเคราะห์สัญญาณจากเครื่องตรวจจับอนุภาค ในส่วนของทฤษฎีนั้น ข้าพเจ้าคิดว่าผู้บรรยายมีเวลาน้อยเกินกว่าจะบรรยายเนื้อหาที่มีจำนวนมากให้นักศึกษาเข้าใจได้ในช่วงเวลาที่จำกัด ทำให้การบรรยายดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เย็นวันนี้ข้าพเจ้าได้กลับไปทำอาหารกลับเพื่อนชาวบอสเนียในช่วงเย็นก่อนเข้านอน

วันเสาร์ที่ 13 กรกฎาคม 2562

เนื่องจากความเหนื่อยล้ามาทั้งสัปดาห์ ข้าพเจ้าตื่นสายมากในวันนี้ ช่วงบ่ายข้าพเจ้าและนักศึกษาไทยอีกสองคนได้ไปเดินเล่นที่ห้างสรรพสินค้าในเมืองเจนีวา ส่วนช่วงเย็นของวันนี้เราได้นัดเจอกับนักศึกษาปริญญาเอกจากประเทศไทย ทำให้เราได้ใช้เวลาพูดคุยกันกว่า 3 ชั่วโมง และเดินทางกลับถึงที่พักในช่วงพลบค่ำ

วันอาทิตย์ที่ 14 กรกฎาคม 2562

ข้าพเจ้าได้นอนพักผ่อนอย่างเต็มอิ่มในวันหยุดนี้ ช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้ตีสมาเฟและพูดคุยกับเพื่อนเล็กน้อย ในช่วงเย็นได้ทำอาหารรับประทานด้วยกันสามคน ถือว่าเป็นวันที่สบาย ๆ ไม่ได้มีอะไรต้องทำมาก

วันจันทร์ที่ 15 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่มีเนื้อหาของการบรรยายที่เข้มข้นมากขึ้นจากสัปดาห์ก่อนมาก ข้าพเจ้าตื่นเช้าขึ้นมาทานอาหารเช้าและรีบขึ้นรถรับส่งเพื่อไปเข้าฟังบรรยายตอนเช้า ในคาบแรกของการบรรยายเป็นเรื่องของแบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาคที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย หลังจากนั้นเป็นการบรรยายวิธีการนำข้อมูลดิบจากเครื่องวัดอนุภาคมาสังเคราะห์หาสัญญาณ ไปจนถึงการทำนายสัญญาณ ส่วนช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้เข้าร่วมประชุมกลุ่มวิจัยและได้นำเสนอผลการศึกษาในช่วงประมาณสองเดือนแรกให้กับกลุ่มวิจัยฟัง เพื่อสรุปผลและต่อยอดผลการศึกษา

วันอังคารที่ 16 กรกฎาคม 2562

การเรียนภาคบรรยายในวันนี้หัวข้อเช่นเดียวกับเมื่อวาน แต่มีความต่อเนื่องและต่อยอดจากที่ผู้บรรยายขยายความในเรื่องของเนื้อหาเพิ่มเติมในแบบจำลองมาตรฐาน การทำนายผลการทดลองที่เครื่องเร่งขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูลดิบมาเป็นอนุภาคทางฟิสิกส์ ในช่วงบ่ายได้กลับไปทำงานที่ต้องทำให้เสร็จ และทำอาหารเย็นรับประทานกับเพื่อน ๆ นักศึกษา

วันพุธที่ 17 กรกฎาคม 2562

สำหรับวันนี้เป็นการเรียนวิชาแรก ในเรื่องของแบบจำลองมาตรฐานและมีการคำนวณที่มากขึ้น มีการยกตัวอย่างการค้นพบทางธรรมชาติ จากนั้นเป็นการเรียนคาบสุดท้ายของการสังเคราะห์ข้อมูลดิบทางสัญญาณมาเป็นข้อมูลทางฟิสิกส์ นอกจากนี้ เป็นการเรียนภาคบรรยายในเรื่องของความท้าทายในการสร้างเครื่องเร่งอนุภาค ตั้งแต่การสร้างด้วยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมมาจัดการกับปัญหาทางการออกแบบ

วันพฤหัสบดีที่ 18 กรกฎาคม 2562

เริ่มต้นของวันด้วยการเรียนแบบจำลองมาตรฐานและอันตรกิริยาของ Electroweak ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเฟอร์มิ ไปจนถึงอันตรกิริยาแบบ Strong ที่มีอนุภาคเสมือนเป็น Gluon และ Quark มาเป็นส่วนเกี่ยวข้อง ส่วนคาบถัดไปเป็นทฤษฎีและการทดลองทางด้านฟิสิกส์อะตอมหนัก โดยความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์จะมีความยากขึ้นและการประมาณค่ารวมถึงสมมติฐานมากมาย เนื่องจากเราไม่นิยมคำนวณค่าทุกอย่างทางตรงของการทดลองทางฟิสิกส์อะตอมหนัก หลังจากนั้นเป็นศาสตร์ของอนุภาคทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ โดยเล่าถึงประวัติการค้นพบและที่มาของรังสีคอสมิก

วันศุกร์ที่ 19 กรกฎาคม 2562

ต่อเนื่องจากเมื่อวาน ในคาบสุดท้ายของแบบจำลองมาตรฐานได้กล่าวถึงอันตรกิริยาแบบ Higgs ที่เป็นตัวกำหนดหรือกฎแฉสำคัญในความเข้าใจมวลของอนุภาคต่าง ๆ ที่ยังเป็นปริศนาจากการคำนวณมวลแบบคร่าว ๆ ว่ามีค่าน้อยกว่าค่าจริงที่วัดได้มาก วิชาถัดไปเป็นฟิสิกส์ของไอออนหนัก ซึ่งวันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าประทับใจมาก เนื่องจากการคำนวณแบบลัดทางฟิสิกส์เชิงสถิติ ทำให้เราทำนายผลการทดลองได้อย่างแม่นยำ ในความเข้าใจของศาสตร์ฟิสิกส์เชิงสถิติและควอนตัมฟิสิกส์ วิชาสุดท้ายของวันนี้เป็นการบรรยายฟิสิกส์ดาราศาสตร์ ที่มีเนื้อหาตั้งแต่ภาพรวมของปริศนาทางดาราศาสตร์ไปจนถึง เครื่องวัดทางอนุภาคฟิสิกส์ดาราศาสตร์ในปัจจุบัน ส่วนในช่วงเย็นได้ไปทานข้าวกับอาจารย์นรพัทธ์และเพื่อน ๆ

วันเสาร์ที่ 20 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันเสาร์ที่ว่างอีกวันหนึ่ง ข้าพเจ้าไม่ได้มีตารางกิจกรรมใด ๆ สำหรับวันนี้ ยกเว้นการเคลียร์งานเล็กน้อยที่ค้างมาทั้งสัปดาห์และได้ไปเล่นบาสเกตบอลในช่วงเย็น

วันอาทิตย์ที่ 21 กรกฎาคม 2562

ในวันนี้ ข้าพเจ้าตื่นสายเนื่องจากตั้งใจว่าจะนอนให้มากที่สุด เพื่อชาร์จพลังเตรียมพร้อมสำหรับสัปดาห์ถัดไปและในระหว่างวันได้อ่านหนังสือเล่มโปรด รับชมรายการโทรทัศน์ที่ดูเป็นประจำและได้คุยกับคุณพ่อและคุณแม่จากที่ประเทศไทยผ่านทางออนไลน์

วันจันทร์ที่ 22 กรกฎาคม 2562

การเรียนรู้วิชาแรกในวันนี้เป็นการปิดท้ายเรื่องฟิสิกส์ของไอออนหนัก เนื้อหาหลักยังคงไม่ต่างจากเดิมมาก แต่มีการเล่าถึงปัญหาและความท้าทายของงานวิจัยในยุคปัจจุบันที่ต้องพบและรอคนอีกมากมายมาช่วยกันแก้ปัญหาและตอบคำถามทางทฤษฎีให้ได้ ส่วนวิชาที่สองเป็นการทดลองทางฟิสิกส์ที่เกิดจากการชนกันของอนุภาค Hadron จากเครื่องเร่งขนาดใหญ่ ตั้งแต่คอนเซ็ปต์อัตราการเกิดและอัตราการสลายแบบ Quantum Chromodynamics ส่วนวิชาสุดท้ายเป็นการแนะนำศาสตร์ของจักรวาลวิทยา ในเรื่องของไอเดียเบื้องต้นและภาพใหญ่ ๆ ว่าศึกษาในเรื่องใดบ้าง ในช่วงบ่ายของวันข้าพเจ้าได้นำเสนอความคืบหน้าของโครงการ ในการศึกษาส่วนขยายเพิ่มเติมจากที่เสนอไอเดียในกลุ่ม ในช่วงท้ายข้าพเจ้าได้รับความคิดเห็นและคำติชมที่เป็นประโยชน์ต่องานอย่างมาก

วันอังคารที่ 23 กรกฎาคม 2562

การบรรยายวิชาแรกของวันนี้เป็นส่วนขยายของแบบจำลองมาตรฐานทางอนุภาคฟิสิกส์ ที่เริ่มต้นด้วยปริศนาและคำถามที่ยังคงไม่มีหลักฐานหรือคำตอบที่แน่ชัด จากนั้น อีกสองวิชาหลังเป็นการบรรยายเรื่องการทดลองที่เริ่มจากการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองมาตรฐานในการค้นพบบางประเภท และเครื่องมือทางสถิติที่จำเป็นสำหรับนักฟิสิกส์ ต่อเนื่องด้วยจักรวาลวิทยาที่กล่าวถึง Big Bang theory ไปจนถึงเอกภพที่มีการขยายตัวอย่างน่าสงสัย แทนที่จะหดเข้าหากันตามหลักความโน้มถ่วงของนิวตัน ส่วนในช่วงบ่ายเราได้เข้าพบเอกอัครราชทูตผู้แทนถาวรไทย ประจำสหประชาชาติ ณ นครเจนีวา ก่อนที่จะเดินทางไปรับประทานอาหารเย็นในตัวเมืองเจนีวา



ภาพการเข้าเยี่ยมคารวะเอกอัครราชทูตผู้แทนถาวรไทย ประจำสหประชาชาติ ณ นครเจนีวา

วันพุธที่ 24 กรกฎาคม 2562

ต่อเนื่องจากเมื่อวาน วิชาแรกของวันเป็นการขยายความจากแบบจำลองมาตรฐานในการตีความของ Symmetry Breaking เมื่อพิจารณาอันตรกิริยาแบบ Electroweak จากนั้น เป็นการบรรยายในเรื่อง การทดลองตั้งแต่คอนเซ็ปต์ ของอนุภาค Higgs ว่าเป็นตัวกลางของอันตรกิริยาแบบ Higgs ไปจนถึงการ ค้นพบที่เชิร์น ปิดท้ายด้วยคาบสุดท้ายของจักรวาลวิทยาเพื่อขมวดปมและตีความรวมไปจนถึงงานวิจัยใน ปัจจุบัน ในช่วงเย็นของวันนี้ข้าพเจ้าได้ทำอาหารไทยร่วมกับนักศึกษาไทยและต่างชาติที่เป็นเพื่อนกัน

วันพฤหัสบดีที่ 25 กรกฎาคม 2562

ช่วงเช้าของวันนี้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมกิจกรรมถ่ายรูปรวมกับนักศึกษาภาคฤดูร้อนเชิร์นและเพื่อน ๆ ทั่วโลกที่เข้าร่วมโครงการในปี 2019 จากนั้น ต่อด้วยการบรรยายด้านทฤษฎีส่วนขยายจากแบบจำลอง มาตรฐาน ไปจนถึงฟิสิกส์ด้านการทดลองเพื่อค้นหาอันตรกิริยาที่เรายังไม่รู้จัก หรือยังไม่ได้เข้าใจอย่างแน่ชัด ในทางทฤษฎีเพื่อค้นหาคำตอบขั้นพื้นฐาน ในช่วงท้ายมีการบรรยายด้านการออกแบบเครื่องเร่งอนุภาค และความท้าทายทางด้านวิศวกรรม เพื่อจัดการปัญหาและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้ ทางฟิสิกส์ไปจนถึงความคิดสร้างสรรค์

วันศุกร์ที่ 26 กรกฎาคม 2562

ช่วงเช้าเป็นการปิดท้ายการบรรยายส่วนขยายของแบบจำลองมาตรฐาน ที่มีเนื้อหาค่อนข้างใหม่ และเป็นระดับงานวิจัย เช่น Super Symmetry และอื่น ๆ เพื่อหาคำตอบปริศนาในเรื่องต่าง ๆ ที่ทฤษฎี พื้นฐานในปัจจุบันยังคงให้คำตอบไม่ได้ จากนั้น ข้าพเจ้าได้เข้าฟังการสัมมนาในกลุ่ม CMG เพื่อฟังรายงาน ผลการศึกษาของนักศึกษาภาคฤดูร้อน เนื่องจากสัปดาห์ถัดไปข้าพเจ้าจะต้องรายงานในกลุ่มนี้ จึงต้อง มีการศึกษาตัวอย่างจากคนก่อนหน้าทำให้ได้ความรู้ใหม่ไม่น้อย ในตอนเย็นของวันนี้ข้าพเจ้าได้เดินทางไป ยังทะเลสาบเจนีวาเพื่อคลายร้อนและพักผ่อนจากความเหนื่อยล้ามาทั้งสัปดาห์

วันเสาร์ที่ 27 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าตื่นสายกว่าปกติ เนื่องจากเมื่อคืนข้าพเจ้านอนดึกและฝนตกทั้งวันทำให้อากาศเย็นสบาย หลังจากนั้นข้าพเจ้าได้นั่งพิมพ์รายงาน รับชมรายการโทรทัศน์ที่เคยติดตามและไปที่ร้านสะดวกซื้อ เพื่อซื้ออาหารสดและขนมเพื่อเตรียมไว้สำหรับวันพรุ่งนี้ ในช่วงเย็นได้ทำอาหารเย็นรับประทานกับเพื่อนสนิท

วันอาทิตย์ที่ 28 กรกฎาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าตื่นสายอีกครั้ง ข้าพเจ้าตื่นมาเพื่อทำโครงการที่ค้างไว้กับเพื่อน จากนั้นได้รับประทานอาหารเช้ากับเพื่อนสนิทชาวบอสเนีย เราสนทนากันยาวนานมากและค่อนข้างเป็นมือค้ำที่ดี

วันจันทร์ที่ 29 กรกฎาคม 2562

การบรรยายในช่วงเช้าวันนี้จะเน้นไปในเรื่องของการทดลองทางด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ ตั้งแต่ทฤษฎีที่จำเป็นในการอธิบายปรากฏการณ์ วิธีการออกแบบการทดลอง ไปจนถึงผลการทดลองและการต่อยอดนำองค์ความรู้ไปใช้ จากนั้นต่อยอดด้วย Quantum Chromodynamics ที่เปรียบเทียบกับอนุสรชาติหรือสีสันของไอศกรีมเปรียบเทียบกับอนุภาคที่แตกต่างกันจึงเรียกละเอียด ๆ ว่า Flavour Physics ในการบรรยายวิชาสุดท้ายเป็นการต่อยอดทางฟิสิกส์พลังงานสูงกับการแพทย์ ที่เล่าตั้งแต่ประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติไปจนถึงเทคโนโลยีที่ใช้

วันอังคารที่ 30 กรกฎาคม 2562

เช้าวันนี้เป็นการบรรยายวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์ที่เกริ่นนำในเรื่องของการทดลอง เช่น ISOLDE ไปจนถึงภาพรวมของอันตรกิริยาระหว่างนิวเคลียสของอนุภาค จากนั้น ต่อด้วย Flavour Physics ที่กล่าวถึงการสั่นหรือการเปลี่ยนสถานะของอนุภาคทางควอนตัม ที่มีองค์ประกอบพื้นฐานแบบคล้ายกัน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ส่วนในช่วงท้ายของวันเป็นการจบการบรรยายของฟิสิกส์ทางการแพทย์ที่น่าสนใจมาก ในการนำเอาองค์ความรู้ด้านฟิสิกส์อนุภาคและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเร่งไปจนถึงเครื่องตรวจวัดมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์

วันพุธที่ 31 กรกฎาคม 2562

การทดลองทางด้านการชนอนุภาคเลปตอน (lepton) เป็นการบรรยายคาบแรกในช่วงเช้าที่ผู้บรรยายกล่าวถึงประโยชน์ ความแตกต่างและข้อจำกัด เปรียบเทียบกันระหว่างการชนกันของอนุภาคโปรตอนที่ใช้ LHC และการชนกันของอนุภาคเลปตอน ตั้งแต่ความแม่นยำในการคำนวณและข้อมูลเชิงฟิสิกส์ที่ได้จากเครื่องตรวจวัด จากนั้น ต่อด้วยการบรรยายอนาคตของฟิสิกส์พลังงานสูง ในส่วนเครื่องเร่งอนุภาคที่บรรยายภาพรวมโปรเจกต์ในอนาคตที่กำลังจะเกิดขึ้น และควรเตรียมความพร้อมในการปรับตัวถ้าต้องการที่จะเติบโตในสายงานต่อไป

วันพฤหัสบดีที่ 1 สิงหาคม 2562

วิชาแรกของวันนี้ เป็นการกล่าวถึงฟิสิกส์ของปฏิสสารในเชิงทฤษฎี ว่านิยามของมันคืออะไร ปริศนาที่ผู้คนยังตอบไม่ได้ รวมไปถึงจนถึงสมมาตรที่ไม่ต่อเนื่อง จากนั้นเป็นเลคเชอร์คาบสุดท้ายของการชนกันของอนุภาคเลปตอนและอนุภาคของเครื่องเร่งอนุภาค ในช่วงเย็นข้าพเจ้าได้มีโอกาสชวนเพื่อน ๆ ที่รู้จักกันไปรับประทานอาหารไทยในเมืองเจนีวา และโชคดีไปกว่านั้น วันนี้เป็นวันชาติที่มีการจัดแสดงพลุและแสงสีต่าง ๆ มากมาย ทำให้ข้าพเจ้าได้ผ่อนคลายและมีความสุขมาก

วันศุกร์ที่ 2 สิงหาคม 2562

ในช่วงเช้าวันนี้ ข้าพเจ้าต้องนำเสนอรายงานผลการทำงานมาในช่วงสองเดือนที่ผ่านมา ดังนั้นช่วงเช้า ข้าพเจ้าจึงนั่งทบทวนลำดับขั้นตอนการนำเสนอ ซึ่งการนำเสนอจะใช้เวลาทั้งหมด 20 นาที ข้าพเจ้ารู้สึกประหม่าเล็กน้อย แต่ก็จบลงด้วยดี ในช่วงบ่ายข้าพเจ้ามีการประชุมอัปเดตงานกับกลุ่มวิจัย

วันเสาร์ที่ 3 สิงหาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าเดินทางไปนั่งร้านกาแฟในเมือง เนื่องจากต้องทำโครงการที่ทำร่วมกับเพื่อนที่ประเทศไทยตั้งแต่เวลาเที่ยงถึงตอนเย็น เพื่อเป็นการหนีร้อนไปในตัวเนื่องจากที่หอพักไม่มีพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศ ในช่วงเย็นได้ไปเดินเล่นต่อในเมืองกับธนัท และกลับไปที่พักเพื่อทำการอบลาซานญารับประทานกันในมือเย็น

วันอาทิตย์ที่ 4 สิงหาคม 2562

ในวันนี้ข้าพเจ้าเริ่มทำงานตั้งแต่ตื่นขึ้นมาหลังจากรับประทานอาหารเช้าเสร็จ เมื่อถึงช่วงเที่ยงเพื่อนสนิทชาวบอสเนียชวนไปเที่ยวทะเลสาบ เพื่อไปเล่นน้ำบริเวณชายหาดเทียมเป็นการผ่อนคลาย ข้าพเจ้าใช้เวลาประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง ในช่วงบ่ายหมดไปกับการเดินเที่ยวและเล่นน้ำกับเพื่อน ๆ หลังจากนั้นข้าพเจ้าได้กลับมาทำอาหารเย็นรับประทาน

วันจันทร์ที่ 5 สิงหาคม 2562

วันนี้เป็นสัปดาห์แรกที่ไม่มีการจัดการบรรยาย ข้าพเจ้าตั้งใจกลับมาทำโครงงานและทุ่มเทเวลากับการทำงานให้มากที่สุด ในช่วงบ่ายถึงเย็นข้าพเจ้ามีรายงานอัปเดตความคืบหน้าของตัวอย่างให้คนในกลุ่มวิจัยย่อยฟัง และมีโอกาสได้รับฟังความคืบหน้าของนักวิจัยท่านอื่นที่ทำด้วยกันในกลุ่มวิจัยด้วย

วันอังคารที่ 6 สิงหาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่อากาศสดชื่นมาก ข้าพเจ้าเริ่มทำงานเวลา 09.00 น. รถรับส่งมาถึงก่อนเวลาที่กำหนด ในช่วงเช้าวันนี้ข้าพเจ้ากับที่ปรึกษาโปรเจกต์มาถึงก่อนเพื่อนร่วมงานท่านอื่น ส่วนในช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้ปรึกษาและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันในเรื่องของเนื้องานที่ต้องแก้ไข ไปจนถึงการวิเคราะห์และตีความผลของข้อมูลที่ได้

วันพุธที่ 7 สิงหาคม 2562

วันนี้ฝนได้ตกลงมาในตอนเช้า ทำให้อากาศเช้านี้ดีเหลือเกิน เป็นวันที่ข้าพเจ้าตื่นสายอีกหนึ่งวัน ทำให้ต้องขึ้นรถรับส่งคันถัดไปในเวลา 09.00 น. ผนวกกับฝนที่ตกลงมาอย่างมากในวันนี้ ทำให้ข้าพเจ้าไปถึงที่ทำงานช้ากว่าปกติ เนื่องจากการจราจรติดขัดเล็กน้อย ในช่วงบ่ายนั้นข้าพเจ้าได้พูดคุยในกลุ่มย่อยกับข้อมูลชุดใหม่ที่เราจะได้นำมาวิเคราะห์และมอบหมายหน้าที่ของแต่ละคน

วันพฤหัสบดีที่ 8 สิงหาคม 2562

วันนี้เป็นอีกวันที่อากาศชื่นมาก ข้าพเจ้าต้องตื่นเข้ามาเพื่อขึ้นรถรับส่งเหมือนที่เคยทำเป็นกิจวัตร จากนั้นได้ไปทำงานในช่วงเช้า เป็นการสรุปผลและวิเคราะห์ผลเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลงานเป็นเวลานาน ในช่วงบ่ายจึงมานั่งตีความผลการศึกษาและปรึกษาหารือกับที่ปรึกษารวมถึงเพื่อนในกลุ่มวิจัย ส่วนในช่วงเย็นข้าพเจ้าไม่ได้ทำอาหารรับประทานเอง เนื่องจากต้องคืนอุปกรณ์เครื่องครัวเพื่อที่จะย้ายที่พักในวันพรุ่งนี้

วันศุกร์ที่ 9 สิงหาคม 2562

ช่วงเช้าวันนี้ข้าพเจ้าตื่นเร็วกว่าปกติมาก และได้จัดการคืนกุญแจที่พักเพื่อย้ายออก รวมถึงจัดการเอกสารต่าง ๆ ให้เรียบร้อย หลังจากนั้นได้นำกระเป๋าเดินทางขึ้นรถรับส่งจากที่พักไปเชิร์นและไปเก็บไว้บริเวณมุมห้องของที่ทำงาน งานหลักของวันนี้ข้าพเจ้าก็ได้ทำต่อเนื่องมาจากเมื่อวานและได้เริ่มเขียนสรุปผลการศึกษา ในช่วงเย็นของวันนี้นั่งรถไฟเดินทางไป Interlaken เพื่อพักผ่อน

วันเสาร์ที่ 10 สิงหาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าตื่นเช้าขึ้นมาชมกับบรรยากาศทะเลสาบ Brienz ที่สวยงาม จากนั้น เริ่มต้นของวันด้วยการเดินทางไป Oeschinensee โดยการนั่งรถไฟและไปด้วยกระเช้าเพื่อขึ้นไปบนภูเขาเดินทางประมาณ 20 นาที จนถึงทะเลสาบสีฟ้าใสที่สวยงามของที่นี่ ข้าพเจ้าได้เก็บรูปภาพไว้เป็นจำนวนมาก



ภาพบรรยากาศริมทะเลสาบ Brienz

วันอาทิตย์ที่ 11 สิงหาคม 2562

ช่วงเช้าของวันเป็นเวลาที่เร่งรีบ เนื่องจากข้าพเจ้าจะต้องออกจากโรงแรมเพื่อไปขึ้นรถบัสในตอนเช้าในช่วงเวลาเร่งด่วน จากนั้น เริ่มต้นวันด้วยการซื้อตั๋วไปยัง Jungfrau และนั่งรถไฟไป Kandersteg ซึ่งไปขึ้นเขาก่อนที่เราจะขึ้นรถไฟแบบพิเศษซึ่งเป็นรถไฟท้องถิ่น วิ่งทะลุหุบเขาน้ำแข็งไปจนถึงจุดสูงสุดของหุบเขาที่มีความหนาวเหน็บและปกคลุมไปด้วยหิมะตลอดทั้งปี ข้าพเจ้าได้เห็นหิมะเป็นครั้งแรกในชีวิต หลังจากชมความงดงามของหิมะเสร็จแล้ว จึงเดินทางไปชมหมู่บ้านเล็ก ๆ แถวนั้นในช่วงเย็นและได้เดินทางกลับเจนีวาในช่วงค่ำ



ภาพบรรยากาศบริเวณ Oeschinen

วันจันทร์ที่ 12 สิงหาคม 2562

เช้าวันนี้ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติเพื่อมารับประทานอาหารเช้าและเตรียมตัวเพื่อไปขึ้นรถรับส่ง ในช่วงเช้า ข้าพเจ้าได้เข้าไปที่ห้องทำงานและได้มีการปรึกษาหารือกับที่ปรึกษาโครงการในเรื่องเนื้อหา และการตีความต่าง ๆ ก่อนที่ช่วงบ่ายจะไปรายงานผลในกลุ่มวิจัย ในช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้ทำสไลด์นำเสนอ ผลงานเพื่ออัปเดตความคืบหน้ารายสัปดาห์

วันอังคารที่ 13 สิงหาคม 2562

เช้าวันนี้เป็นอีกวันที่ข้าพเจ้าต้องตื่นไปทำงานโดยนั่งรถประจำทาง ข้าพเจ้าได้แวะซื้อกาแฟถ้วย สำหรับเครื่องชงกาแฟสำเร็จรูปมาไว้ที่ทำงาน เนื่องจากเรามีข้อตกลงกันในกลุ่มที่ทำงาน ที่จะผลัดกันซื้อ มาเติมในคอกกาแฟที่เราสะสม ก่อนที่จะเดินเข้าทางลัดที่ต้องใช้บัตรนักศึกษาที่เป็นแม่เหล็กในการเดินเข้า ไปทำงานให้เร็วที่สุดเพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลา

วันพุธที่ 14 สิงหาคม 2562

วันนี้เป็นวันที่หนาวเย็นวันหนึ่งของสัปดาห์ ข้าพเจ้าจึงต้องใส่เสื้อกันหนาวอีกชั้นในตอนเช้า เพื่อออกไปขึ้นรถประจำทางไปที่เซิร์น วันนี้คนน้อยกว่าปกติ อาจจะเป็นเพราะช่วงนี้ของปีเป็นช่วงเวลา ที่คนมักจะลาพักก่อนไปท่องเที่ยวหรือหยุดหลายวันเพื่อพักผ่อนจากความเหนื่อยล้าในการทำงาน ข้าพเจ้า จึงไปถึงที่ทำงานอย่างรวดเร็ว ในช่วงบ่ายวันนี้ข้าพเจ้าได้รับประทานอาหารกับที่ปรึกษาเหมือนที่เคย โดยทานของหวานเป็นเค้กบลูเบอร์รี่และกลับที่พักในช่วงเย็น

วันพฤหัสบดีที่ 15 สิงหาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าขึ้นรถประจำทางและลงรถผิดป้าย ทำให้ข้าพเจ้าต้องนั่งย้อนกลับไปยังที่เดิมและ นั่งต่อไปยังเซิร์น ทำให้วันนี้ข้าพเจ้ามาทำงานสายกว่าปกติเป็นเวลาเกือบครึ่งชั่วโมง ในช่วงเช้าข้าพเจ้าได้ เริ่มเขียนรายงานเอกสารให้กลุ่มวิจัยสำหรับสรุปผลและขั้นตอนเพื่อที่จะส่งให้คนที่ทำงานนี้ต่อไปได้อย่าง ราบรื่นโดยไม่มีข้อบกพร่องหรือข้อมูลที่สูญไปโดยเปล่าประโยชน์ ในช่วงเย็นของวันข้าพเจ้าได้นั่ง ชิงช้าสวรรค์และเดินเล่นในเมืองเจนีวาและกลับที่พักในช่วงพลบค่ำ

วันศุกร์ที่ 16 สิงหาคม 2562

ในช่วงเช้าเมื่อข้าพเจ้ามาถึงที่ทำงาน ข้าพเจ้าได้ดื่มกาแฟเข้ม ๆ หนึ่งแก้ว ก่อนที่จะเริ่มทำเอกสาร ต่อสำหรับทีมวิจัย โดยเริ่มจากในช่วงเช้าจนถึงช่วงเที่ยง และได้แก่ส่วนของการเขียนโปรแกรม บวกกับ หารือกับที่ปรึกษาในส่วนเนื้อหาต่าง ๆ ที่ต้องใส่ลงในการบันทึก ส่วนในช่วงเย็นข้าพเจ้าได้เดินทางไป สนามบินเจนีวา และเดินทางไปปารีสในเย็นวันนั้นโดยเครื่องบิน จากนั้นข้าพเจ้าได้นั่งรถไฟต่อไปยัง ที่พักในตัวเมือง

วันเสาร์ที่ 17 สิงหาคม 2562

ข้าพเจ้าตื่นเช้าเพื่อรีบออกเดินทางไปพระราชวังแวร์ซาย เพื่อเยี่ยมชมความสวยงามของสถาปัตยกรรมและศิลปะต่าง ๆ เริ่มต้นด้วยการนั่งรถไฟใต้ดิน แต่กลับพบว่าการซ่อมแซมเส้นทางรถไฟใต้ดินมากมายจนเราต้องเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางที่อ้อมและขึ้นรถเมล์เพื่อเลี่ยงเส้นทาง ซึ่งเสียเวลาอย่างมากกว่าจะมาถึงที่หมาย ในตอนที่มาถึงมีฝนตกลงมาอย่างหนัก แต่ในใจคิดว่ามาถึงแล้วก็ต้องเข้าไปดูให้ได้ เพื่อเป็นการไม่เสียเวลา ข้าพเจ้าเดินทางร่วมลุยฝนเข้าไปต่อแถวท่ามกลางฝูงชนที่มารอเยี่ยมชมความสวยงามในความวังเวงและความชื้นท่ามกลางฝนที่โปรยปราย ในช่วงเย็นข้าพเจ้ากลับมาเดินเล่นในเมืองปารีสที่แม่น้ำสายหลัก พบว่าฝนยังตกไม่หยุด ส่วนตอนมือข้าพเจ้าเหนียวล้ามาก จึงได้รับประทานอาหารที่ร้านหนึ่งซึ่งข้าพเจ้าไม่มีทางรู้เลยว่ารสชาติจะออกมาดีไหม แต่กลับพบว่าป็นร้านที่น่าประทับใจมาก ๆ ทั้งในเรื่องการบริการ สถานที่ และรสชาติอาหาร

วันอาทิตย์ที่ 18 สิงหาคม 2562

ข้าพเจ้าตื่นสายกว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากเมื่อวานอ่อนเพลียมาก และเริ่มต้นวันด้วยการไปพิพิธภัณฑ์ลูฟร์ โดยไม่สนใจฝนที่ตกกระหน่ำอยู่ภายนอก และโชคดีมาก ๆ ที่ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำตั้งแต่สนามบินในวันมาถึงว่าถ้าจะเข้าชมพิพิธภัณฑ์ลูฟร์ เราต้องจองเวลาล่วงหน้าซึ่งไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งข้าพเจ้าก็จัดการทำเอกสารการจองไว้อย่างเรียบร้อย และมันก็ได้ผลอย่างดียิ่งเยี่ยม ข้าพเจ้าเดินทางผ่านฝูงชนที่หนาแน่นเช่นเดียวกับเมื่อวาน เพื่อไปเข้าประตูสำหรับผู้เยี่ยมชมที่จองไว้แล้ว และในตอนนั้นข้าพเจ้ารู้สึกขาบซึ่งในคำแนะนำจากพนักงานท่านนั้นมาก ในช่วงเย็นข้าพเจ้านั่งเครื่องกลับเจนีวา และต่อรถประจำทางไปยังที่พักในช่วงค่ำอย่างปลอดภัย

วันจันทร์ที่ 19 สิงหาคม 2562

เช้าวันนี้สำหรับข้าพเจ้าค่อนข้างสับสน ทั้งที่รู้ว่าจะได้กลับประเทศไทยไปเจอหน้าคุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อน ๆ รวมทั้งอาหารต่าง ๆ ที่คิดถึง แต่ภายในใจก็รู้สึกเศร้าที่รู้ว่าเหลือเวลาอีกไม่มากที่จะได้อยู่ที่นี่งานส่วนใหญ่ของข้าพเจ้าด้านเนื้องานเริ่มลดลง เพราะต้องแบ่งเวลาส่วนมาจัดการกับการทำเอกสารตามจุดประสงค์ของกลุ่มวิจัย เพื่อที่จะหาคนสานต่องานนี้เพื่อให้ใช้งานสะดวก ในช่วงบ่ายของวันนี้ไม่มีการออฟเทคงานใด ๆ จากในกลุ่มใหญ่ เนื่องจากหลายคนลาพักร้อนในสัปดาห์นี้

วันอังคารที่ 20 สิงหาคม 2562

เช้าวันนี้อากาศเย็นกว่าปกติ ข้าพเจ้าได้ใส่เสื้อกันหนาวไปทำงานตั้งแต่เช้าและเดินเท้าเข้าเซิร์นในช่องทางลัด ที่ต้องผ่านตึกสองสามตึกโดยทะลุไปยังตึกที่ข้าพเจ้าทำงานโดยตรง ข้าพเจ้าพบว่าที่นี่ดูเจิบเหงามากขึ้น เนื่องจากนักศึกษาภาคฤดูร้อนหลายคนได้กลับกันไปแล้ว อีกทั้งคนที่ทำงานที่นี่ก็ยังลาพักร้อนกันจำนวนมากอีกด้วย ทำให้ข้าพเจ้าใช้เวลาทำงานได้เจิบสงบ เพราะไม่มีการพูดคุยเกิดขึ้นมากนักในวันนี้ และข้าพเจ้าต้องรีบทำเอกสารที่เป็นกลุ่มส่งให้เซิร์นอีกด้วย

วันพุธที่ 21 สิงหาคม 2562

วันนี้ข้าพเจ้าตื่นเช้ากว่าปกติ และได้ทานอาหารเช้าแบบง่าย ๆ พร้อมออกไปทำเอกสารเพิ่มเติมที่ยังเหลือ ข้าพเจ้าจัดการโครงร่างส่วนใหญ่ไปเยอะพอสมควรและได้ส่งให้กลุ่มวิจัยอ่านแล้ว ทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกโล่งใจว่าจะไม่มีงานค้างใด ๆ ที่ข้าพเจ้าต้องทำก่อนกลับ วันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้าต้องรีบกลับมาที่พักเนื่องจากต้องจัดการธุระต่าง ๆ ที่ต้องทำก่อนที่จะย้ายออกในวันศุกร์นี้

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2562

ข้าพเจ้าได้ข้อเสนอแนะเรื่องรายงานกับกลุ่มวิจัยในวันนี้มาจากอาจารย์ท่านหนึ่ง และได้แก้ไขโดยเร็วตามที่ท่านแนะนำ เนื่องจากเป็นวันก่อนสุดท้ายของข้าพเจ้าแล้ว ข้าพเจ้าจึงต้องแก้ไขส่วนที่ผิดพลาด จากนั้นในช่วงสายของวันข้าพเจ้าได้จัดการเรื่องเอกสารและบอกกล่าวผู้ประสานงานของเซิร์นที่คอยจัดการงานเอกสารต่าง ๆ ให้เด็ก ๆ นักศึกษาภาคฤดูร้อน และได้กล่าวขอบคุณที่ได้ช่วยเหลือ รวมถึงความอบอุ่นที่ได้รับของการเป็นนักศึกษาภาคฤดูร้อนที่นี่

วันศุกร์ที่ 23 สิงหาคม 2562

ช่วงเช้าของวันนี้ ข้าพเจ้ารีบมาถึงที่ทำงานเร็วกว่าปกติ เพื่อจัดการงานที่ต้องส่งและแก้ไขรายละเอียดเล็กน้อย แต่วันนี้ข้าพเจ้านำกล้องโพลาลอยด์ตัวโปรดมาด้วย ข้าพเจ้าจึงเก็บภาพถ่ายที่บันทึกความทรงจำของข้าพเจ้ากับกลุ่มวิจัย ซึ่งข้าพเจ้ามีความสุข และเศร้าในวันเดียวกันที่เวลาของการเป็นนักศึกษาภาคฤดูร้อนนั้นหมดแล้ว จากนั้นข้าพเจ้าได้บอกกล่าวและกล่าวขอบคุณกับกลุ่มวิจัยก่อนที่จะเดินทางออกจากเซิร์น มันเป็นประสบการณ์ที่ดีสำหรับข้าพเจ้าเหลือเกิน ข้าพเจ้านั่งทบทวนอยู่นานตอนถือรูปโพลาลอยด์แผ่นหนึ่งที่เก็บเอาไว้

บทที่ 4

ประสบการณ์และข้อเสนอแนะ

ข้าพเจ้าได้เรียนรู้สิ่งต่าง ๆ นอกจากในห้องเรียน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อข้าพเจ้าในการดำเนินชีวิตและการทำงานในอนาคต

ประสบการณ์ในชีวิตประจำวันที่ข้าพเจ้าได้รับ คือ เป็นการเปลี่ยนตัวเองให้เป็นคนตรงเวลามากขึ้น เนื่องจากข้าพเจ้าต้องวางแผนเวลาการใช้ชีวิตในเวลาแต่ละวันที่ค่อนข้างละเอียดกว่าแต่ก่อน ตั้งแต่การเดินทางว่าจะขึ้นรถไฟไป – กลับเวลาไหน เวลาการตื่นนอนและการรับประทานอาหารเช้า รวมไปถึงเวลาในการสร้างสรรค์ที่ตั้งไว้กับตัวเอง

การได้พบเจอเพื่อนและสังคมใหม่ ๆ ทำให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้วัฒนธรรมของเพื่อนชาวต่างชาติที่มีความหลากหลายทางเชื้อชาติมาก ๆ ซึ่งมาจากแทบทุกมุมโลก ทำให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้คำศัพท์ต่างประเทศ รวมไปถึงประสบการณ์และรสชาติอาหารที่แปลกใหม่ที่เพื่อนชาติคนอื่น ๆ ทำให้ทานนอกจากนั้น ข้าพเจ้าและเพื่อนชาวไทยยังได้มีโอกาสทำอาหารไทยให้เพื่อน ๆ ได้ลองทาน และได้ชวนเพื่อนในกลุ่มที่รู้จักกันไปทานมื้อค่ำที่ร้านอาหารไทยในเมืองเจนีวาอีกด้วย

บทที่ 5

การขยายผล

5.1 การถ่ายทอดประสบการณ์ผ่านการบอกเล่า

ข้าพเจ้ามีความปรารถนาที่จะบอกเล่าประสบการณ์ให้คนที่ข้าพเจ้ารู้จัก ทั้งในวงวิชาการหรือบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจ เพื่อเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับจากการทำงานวิจัยระยะสั้น รวมถึงการเรียนรู้ภาคบรรยายและการเยี่ยมชมสถานที่ต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าเคยได้ไปเรียนรู้

5.2 การเผยแพร่โครงการที่ได้ทำสู่โลกออนไลน์

เนื่องจากงานของข้าพเจ้าไม่มีความลับที่ต้องเก็บรักษาไว้สำหรับองค์กรเชิร์น ดังนั้นข้าพเจ้าจึงจะสร้างพื้นที่บนโลกออนไลน์สำหรับการเผยแพร่ผลงานในอนาคต ตั้งแต่การเริ่มต้น ขั้นตอนการทำ หรือแม้กระทั่งผลงานวิจัยไว้บนเว็บไซต์ เพื่อความสะดวกแก่เพื่อนร่วมงาน ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานของข้าพเจ้าจะเป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไปที่สนใจไม่มากนัก

บทที่ 6

ประวัติโดยย่อของผู้เขียน

ข้าพเจ้าเกิดและเติบโตในจังหวัดสมุทรปราการมาตั้งแต่ยังวัยเยาว์ ข้าพเจ้าเข้าเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ ตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย ในช่วงเวลาของการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษา ข้าพเจ้าได้มีโอกาสเป็นนักกีฬาบาสเกตบอลของโรงเรียน โดยได้มีโอกาสเป็นผู้นำทีมเมื่อศึกษาอยู่ชั้นปีสุดท้ายของการเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในเรื่องวิชาการได้มีโอกาสศึกษาในห้องเรียนพิเศษตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และห้องเรียนหลักสูตรวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ระดับอุดมศึกษา ข้าพเจ้าได้เริ่มต้นเข้าศึกษาที่มหาวิทยาลัยมหิดล ในหลักสูตรปริญญาตรี เมื่อปี พ.ศ. 2557 ในคณะวิทยาศาสตร์ และได้รับทุนของโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ในภาคการศึกษาที่ 2 ของชั้นปีที่ 1 จากนั้นเมื่อเข้าชั้นปีที่ 3 ข้าพเจ้าได้ลงทะเบียนเรียนหลักสูตรฟิสิกส์วิธาน เพื่อศึกษาวิชาที่มีเนื้อหาเข้มข้นและสามารถลงทะเบียนวิชาบัณฑิตศึกษา ตั้งแต่ชั้นปีที่ 3 ของการศึกษาระดับปริญญาตรี และยังได้มีการส่งเสริมให้ค้นคว้าวิจัยในด้านต่าง ๆ จากนั้น ข้าพเจ้าจบการศึกษาในปีการศึกษา พ.ศ. 2560 ด้วยเกียรตินิยมอันดับหนึ่ง และปัจจุบันข้าพเจ้ากำลังศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรนานาชาติ ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ภาคผนวก

รายงานเชิงเทคนิค

CERN Summer Student Report 2019

Machine Learning Based Outlier Detection for Data Certification



Patomporn Payoungkhamdee *

EP-CMG-CO

Supervisor: Marcel Andre Schneider †

A report submitted in partial fulfilment of the requirements
for the CERN summer student programme 2019

August 22, 2019

*Mahidol University

†European Organization for Nuclear Research (CERN)

Abstract

Compact Muon Solenoid (CMS) detector was built in the middle of collision from Large-Hadron Collider (LHC) which is one of the most powerful particle accelerators in the world. The mission is to collect the product from collision and decaying which happens 40 million times each second. The data taking in the CMS experiment is reconstructed to become a physics quantity 48 hours after a collision. The certification of data quality is made on run and lumisection levels. The criteria to certify are both from an automatic system as well as manual work from untraceable misbehaving of detector which is marked by offline shifter and detector experts. Approximately 95% of data are good and the rest of them are bad. It is not easy to say that all phenomena that cause misbehaving of a result are well understood. Then the aim of this work is to reduce the manual work for data qualification by exploding various types of semi-supervised learning by treating the outlier as bad in lumisection granularity.

Acknowledgement

- CERN Summer Student program 2019
- Especially
 - Marcel Andre Schneider
 - Francesco Fiori
 - Kaori Maeshima
 - Javier Fernandez
 - Adrian Alan Pol
 - Countless CMS DQM people
- GPU resources from IBM in collaboration with CERN Openlab



Contents

1	Overview	1
2	Background	2
2.1	Compact Muon Solenoid (CMS) Detector	2
2.2	Data Acquisition (DAQ)	3
2.2.1	CMS Online System	4
2.2.2	Data Granularity	4
2.3	Data Quality Monitoring (DQM)	5
3	Objectives	6
3.1	Expectation	6
3.2	Proposal For an Alternative Approach	7
4	Methodology	8
4.1	Datasets	8
4.1.1	Histogram Representation	8
4.1.2	Data Preprocessing	9
4.2	Semi-Supervised Learning	9
4.2.1	Schölkopf's One-Class SVM	9
4.2.2	Isolation Forest	10
4.2.3	Autoencoder (AE)	10
5	Results and Interpretation	14
5.1	2016 Datasets	14
5.1.1	Primary Analysis	14
5.1.2	Performance	15
5.1.3	Distribution of decision value (to find the threshold)	15
5.1.4	Example of square error from reconstruction	16
5.1.5	Extended Investigation	16
5.2	2018 Datasets	16
5.2.1	Primary Analysis	16
5.2.2	Performance	18
6	Conclusions	29

List of Figures

2.1	Sectional view of the CMS detector. The LHC beams travel in opposite directions along the central axis of the CMS cylinder colliding in the middle of the CMS detector. Image retrieved from http://cms.web.cern.ch/news/cms-detector-design	3
2.2	Onion-like crossection of CMS. Image retrieved from [1]	3
2.3	Overview of the CMS online systems. Image retrieved from [7]	4
2.4	Tools and Processes of DQM. Image retrieved from M. Schneider, CHEP 2018	5
3.1	Three possible regions of prediction	6
3.2	ML certification procedure, image taken from [4]	7
4.1	η distribution, image taken from DQM GUI	8
4.2	Gaussian distribution, retrieved from https://towardsdatascience.com/understanding-the-68-95-99-7-rule-for-a-normal-distribution-b7b7cbf760c2	10
4.3	Body of Vanilla AE	11
4.4	Body of Variational AE retrieved from https://towardsdatascience.com/intuitively-understanding-variational-autoencoders-1bfe67eb5daf	13
5.1	Principal component with the labeled color from the system	14
5.2	Comparative visualization of model performance	15
5.3	Distribution of decision value	16
5.4	Reconstruction error from Vanilla AE	17
5.5	Colorize reconstruction error from Vanilla AE	18
5.6	Two principal components of EGamma	19
5.7	Two principal components of Single Muon	20
5.8	Two principal components of ZeroBias	21
5.9	Two principal components of JetHT	22
5.10	Model performance for feature set 1 with 2018 data	23
5.11	Extended model performance for feature set 1 with 2018 data	24
5.12	Model performance for feature set 2 with 2018 data	25
5.13	Extended model performance for feature set 2 with 2018 data	26
5.14	Distribution of decision value	27
5.15	Reconstruction error of SingleMuon	27
5.16	Reconstruction error of ZeroBias	28
5.17	Reconstruction error of JetHT	28

Chapter 1

Overview

Before the whole data be feeding to physics analysis, there is a procedure to certify the data quality in run and lumisection granularity. Data quality monitoring (DQM) team provides the tools and workflow where there is an offline and online section to consider which basically online is a real-time and the data that we get 2 days after collision would be inspected in offline section. The person who looking at a dozen of a histogram that demonstrates the occupancy of the detector in each sub-system and also the physics quantities in various perspectives of information. Most of Bad lumisection (LS) are automatically came from run tagged as bad by a human for the whole run and DCS bits in lumisection levels. In some cases, there is a small fraction bad LS that are manually marked as bad by data certification experts in lumisection levels because some kind of detector malfunction isnt traceable from the previous process. On the other hand, good LS is defined in Golden JSON which is literally taken from data that passes of those bad criteria.

The main objective of this work is to find a mathematical way to certify data quality lumisection granularity to reduce the manual work of data certification experts. As it can be seen that there are only a small fraction of data. Moreover, the bad data that are marked by the expert are relatively small compare to good data. Then we have to face to the imbalanced class problem and it is the reason why we choosing semi-supervised learning where we feed only good data to train the unsupervised model and testing with both kinds of data. Consequently, the data that are marked as bad by the model would be considered an outlier where the model does not familiar with. A more explicit analysis would be provided in this report.

Chapter 2

Background

2.1 Compact Muon Solenoid (CMS) Detector

The Compact Muon Solenoid (CMS) detector be designed for collect the collision and decay-ing data in forward and transverse of the beamline. It has more resolution in the transverse direction from the equipment that has been designed to focus in transverse direction as the Figure 2.1. According to [3], The detector itself consist of different sub-detector for their own purpose where the main components are

The Compact Muon Solenoid (CMS) detector be designed to collect the collision and decay-ing data in forward and transverse of the beamline. It has more resolution in the transverse direction from the equipment that has been designed to focus in transverse direc-tion as Figure 2.3. According to [3], The detector itself consists of different sub-detector for their own purpose where the main components are

1. **Tracker** to trace the footprint of a charged particle by beginning at the hitting of the closest layer which is pixel detector and following by multiple layers of strip detector to gain more precision of particle tracks that correspond to momentum of the particle
2. **Electromagnetic Calorimeter (ECAL)** measure the momentum of leptons (espe-cially electron) and photon where the main interaction is electromagnetic interaction
3. **Hadron Calorimeter (HCAL)** has been designed for measure the energy of hadronic particle where it also has QCD interaction rather than only electromagnatic
4. **Superconducting Solenoid** for generate a nearly-uniform magnetic field inside of the cylindrical shape and charged particle turn their heading around where it propagate in the outside of this radius like a muon track in Figure 2.2
5. **Muon Detectors** is one of the most important sub-detector for measuring the muon momentum and the track of them by taking a footprint of tracking system into account to get more precise information

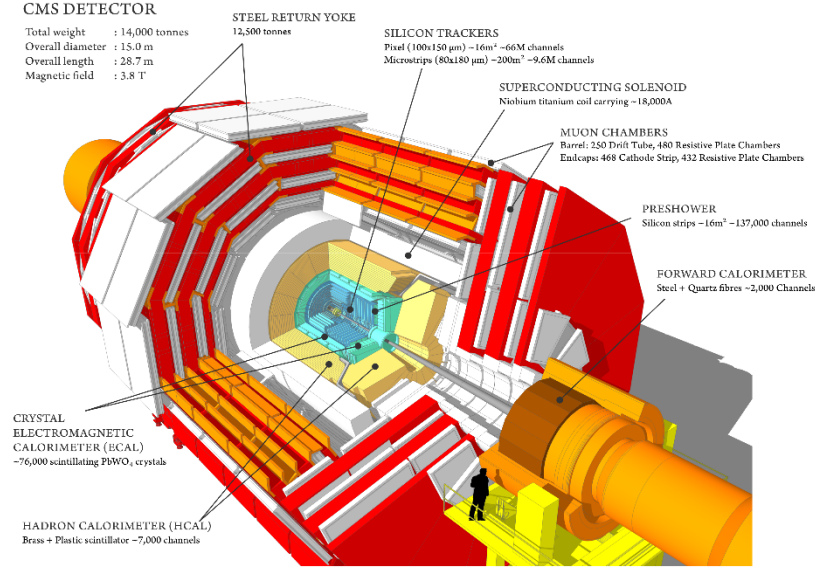


Figure 2.1: Sectional view of the CMS detector. The LHC beams travel in opposite directions along the central axis of the CMS cylinder colliding in the middle of the CMS detector. Image retrieved from <http://cms.web.cern.ch/news/cms-detector-design>

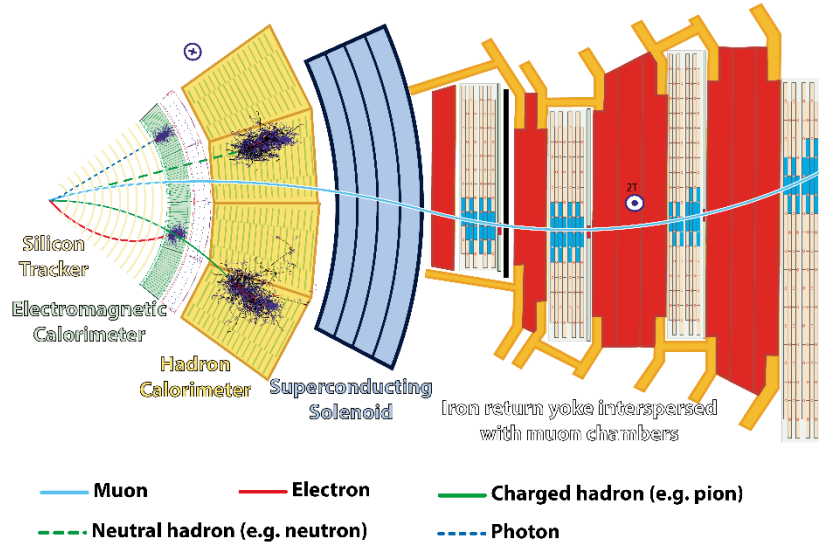


Figure 2.2: Onion-like cross-section of CMS. Image retrieved from [1]

2.2 Data Acquisition (DAQ)

According to [2], the collision rate takes around 40Mhz (100 Tbyte/s) which is impossible for the instrument to collect all of those signals that happen at a time. The harvested signal

that CMS detector select is determined from low-level trigger where the detector frontend (electronic circuit determination) process to select an interesting signal. The level-1 (L1) trigger filter and produce the signal at 100 kHz (100 Gbyte/s). Then it has been sent to high-level trigger (HLT) where we could start to really see the interpretable physical quantities from here.

2.2.1 CMS Online System

CMS team also provide the tools for automate data acquisition as [7] where the big picture has been demonstrated in Figure 2.3. Apparently, the system still needs some people to double-check by using various tools e.g. Web GUI and so on during the running process of beam collider in LHC from the low-level system to high-level system.

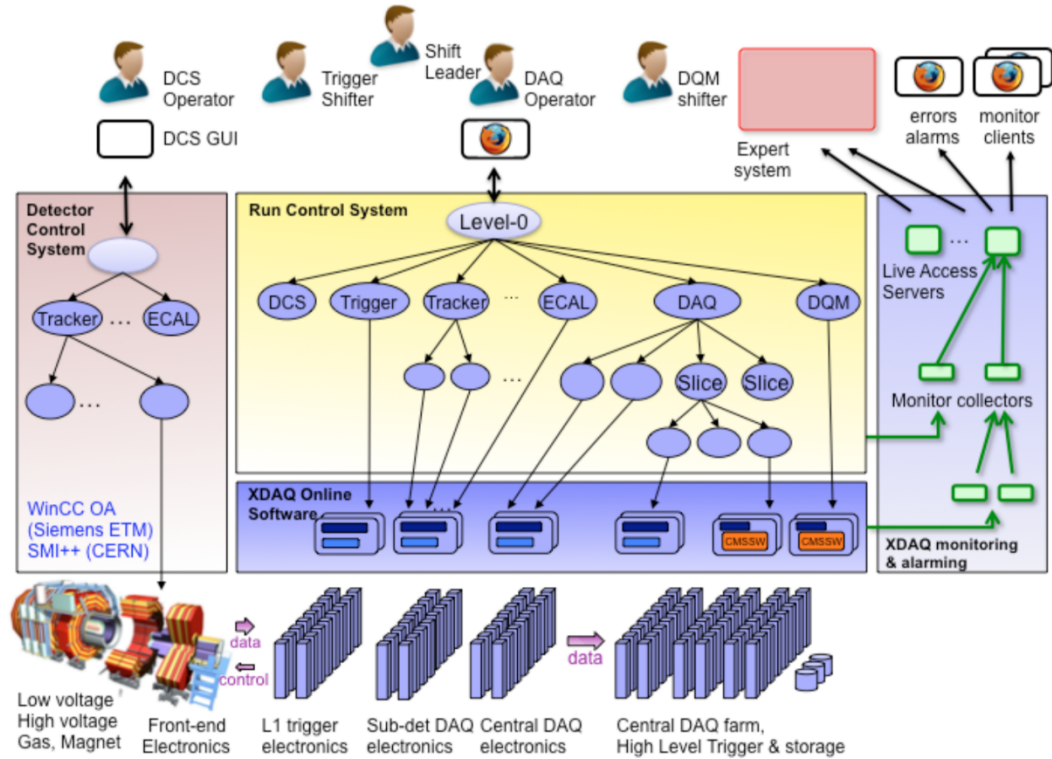


Figure 2.3: Overview of the CMS online systems. Image retrieved from [7]

2.2.2 Data Granularity

We decide to divide a big chunk of data into one run and each run contains multiple lumisection which has 23 seconds of interval due to the beam does not change much where we consider 23 seconds of time. Moreover, each lumisection contain multiple events. If we consider in terms of time to reconstruction, there are Express and PromptReco where data are reconstructed at nearly real-time and two days after a collision.

2.3 Data Quality Monitoring (DQM)

In order to make sure that data quality is nearly perfectly well collected, there is another story called DQM where it's actually the subset of the run control system in Figure 2.3. CMS DQM team provides the tool where there is online and offline shifter checking the result from beam collision real-time and 48 hours after collision orderly. Figure 2.4 is the schematic of a DQM workflow include the tools and person who responsible for each module. If some sub-systems went weird such as the peak of the histogram drastically increase with no physical sense or some part of the detector turned off, they will report in the log of the system in the running process and calling detector experts to inspect the problem. In this work, we will only focus on the red box which is the offline world.

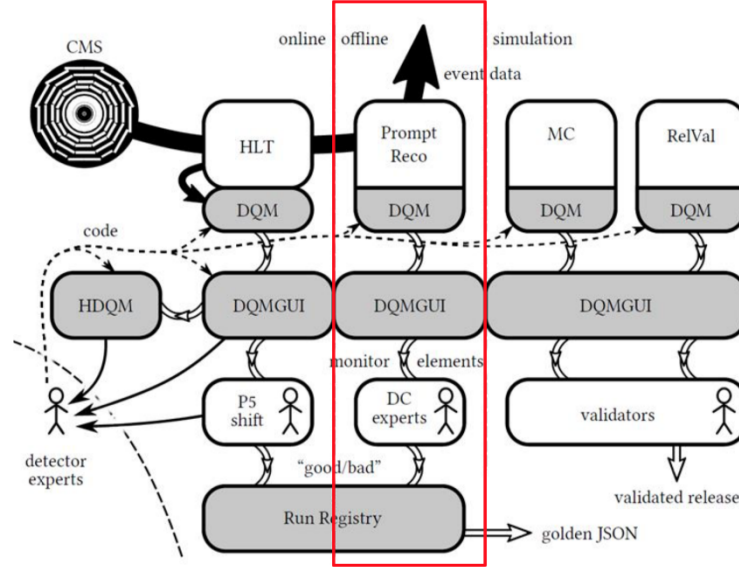


Figure 2.4: Tools and Processes of DQM. Image retrieved from M. Schneider, CHEP 2018

Regarding the scope that we want to mimic, offline shifter and detector experts check a multiple distribution histogram to inspect and certify data quality. The certification is made on run and lumisection granularity. The procedure to certify the data are the following list

1. Automatically filter by DCS bits, beam status and etc. (LS levels)
2. Runs tagged as bad by human (whole run)
3. In rare cases are marked by DC experts (LS levels)

Then the rest of them that pass all of those criteria are defined in Golden JSON which are good LS.

Chapter 3

Objectives

- Certify data quality in lumisection granularity
 - Classification on the basis of actual data distributions per LS
- Reduce manual work of DC Experts

3.1 Expectation

The most important aim of this work is to reduce the offline shifter work where we should provide the tools to reduce their work if some data are totally bad or perfectly good and let them inspect only for a few grey zones. In order to separate a kind of data quality, we have to define some decision values from some mathematical models to determine the data quality by finding some threshold to separate them. For the ideal case, we might see the good lumisection that looks perfectly good, bad lumisection that looks terribly skew and the grey zone where some of those two kinds of lumisection are overlapping.

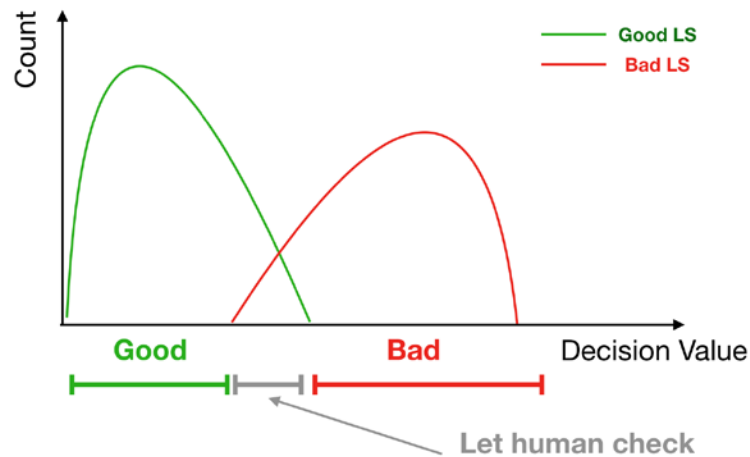


Figure 3.1: Three possible regions of prediction

3.2 Proposal For an Alternative Approach

Again, the purpose of this work is not to redefine the certification process but mimic a shifter and reduce their work if there is an obvious case. Then the automatic DCS bit flagging will stay but we apply the algorithm on top of it rather than remove the criteria. The quantity value of each data point are physical quantities such as

1. **Features** transverse momentum, azimuth angle from the beamline, etc.
2. **Objects** Mapped to the relevant primary dataset (i.e. tracks to ZeroBias, muons to SingleMuon and so on)

Since each run contain a lot of lumisection which probably too much for processing the certification, [4] offers a way to certify data by run and lumisection levels where there is a supervised learning apply in the whole run and feeding only the grey zone to inspect by lumisection to investigate the outlier on step 2 as in the Figure 3.2.

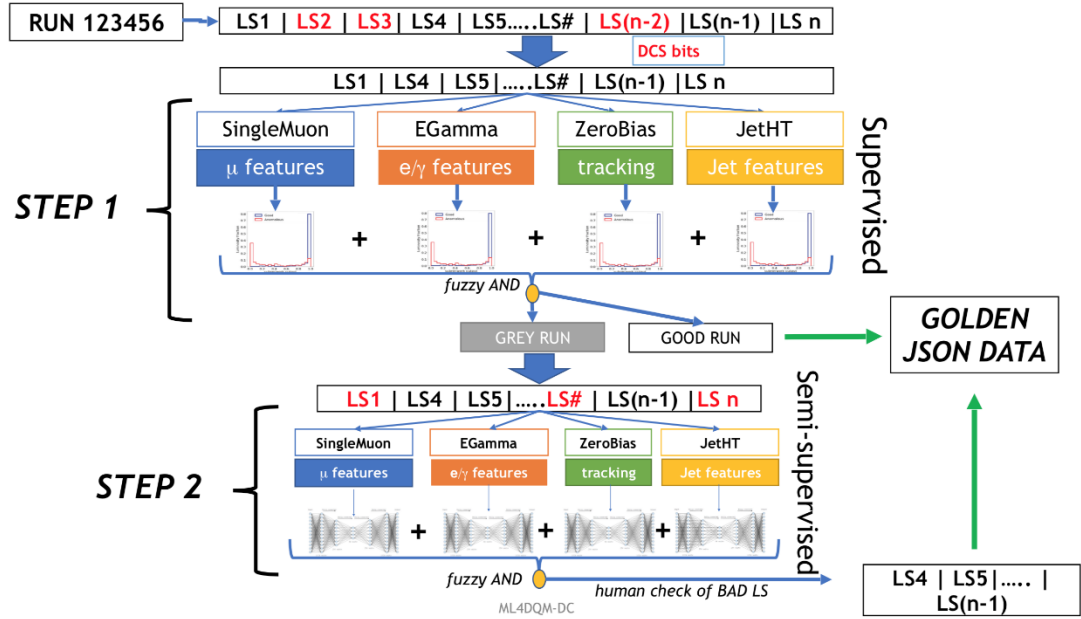


Figure 3.2: ML certification procedure, image taken from [4]

Chapter 4

Methodology

4.1 Datasets

Offline (PromptReco)

- pp collisions (Separately study 2016 and 2018 data)
- 4 different primary datasets: ZeroBias, JetHT, EGamma, SingleMuon
- Each lumisection (datapoint) contains
 - Selected n histograms of physics quantity e.g. JetPt, JetEta, JetPhi, etc.
 - Represent one histogram with 7 numbers
 - $n \times 7$ Features
- Good LS defined in Golden JSON else Bad LS

4.1.1 Histogram Representation

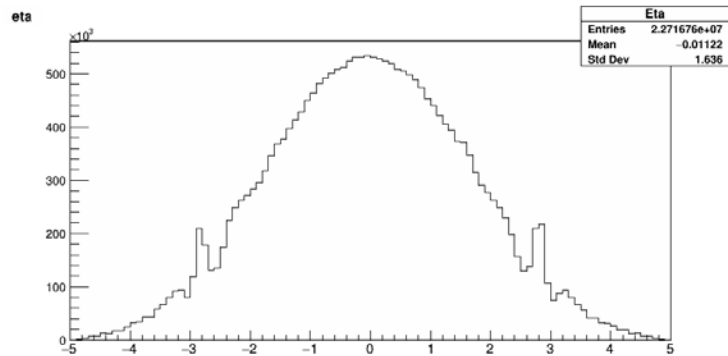


Figure 4.1: η distribution, image taken from DQM GUI

To mimic the offline shifter that looking at the histogram and certifies data by that. Then I decided to represent a single histogram with seven quantities instead of feeding all of those

to the model because it would be an overwhelming large feature. The explicit example is to consider one histogram as Figure 4.1

Here are the simple step for picking up our represented vector

- Quantize [10%, 30%, 50%, 70%, 90%] of the histogram (For 2016 data, we quantize [0%, 25%, 50%, 75%, 100%] of the histogram)
- Combines mean and rms
- Use these 7 values to represent one histogram

4.1.2 Data Preprocessing

For numerically convenient, we transform each data point by using

MinMaxScalar Transformation The mathematical expression is represented by considering lumisection i and features j

$$x'_{ij} \leftarrow \frac{x_{ij} - \min_{\forall i \in S_{\text{train}}} \{x_{ij}\}}{\max_{\forall i \in S_{\text{train}}} \{x_{ij}\} - \min_{\forall i \in S_{\text{train}}} \{x_{ij}\}} \quad (4.1)$$

In principle, each feature in our data should be in range zero to unity.

4.2 Semi-Supervised Learning

We exploding a various unsupervised model from a beautiful simple one to more complicate neural network which are

- Schölkopf's One-Class SVM
- Isolation Forest
- 4 Flavours of Autoencoder

Training the model by feeding only good LS as well as validate it with good LS to ensure the learning curve is appropriate for hyper-parameters configurations. After the training process is done, we test it with both good and bad LS. Consequently, it's falling into **Semi-supervised Learning** category.

4.2.1 Schölkopf's One-Class SVM

Support vector machine (SVM) is one of the most popular machine learning models since it has no randomness and beautiful straightforward way to express. There is a way to tweak the original one to interpret as the radius-like hyperplane where the inlier of data is feeding and mapped to more than one radius with a soft margin controlled by a factor ν as interpret in [8]. By minimizing

$$\frac{\|w\|^2}{2} + \frac{1}{\nu l} \sum_{i=1}^l \xi_i - \rho \quad (4.2)$$

Under conditions

$$w \cdot \Phi(x_i) \geq \rho - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0 \quad (4.3)$$

With Gaussian Base Radial function (GBF) as a kernel like equation 4.4

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2) \quad (4.4)$$

4.2.2 Isolation Forest

The idea of bagging the sample and construct a tree are incredibly beautiful are interpreted and adapt in a way that unsupervised learning comes to the place are study by [6]. Forest are constructed by picking up subsampling (Ψ) and Iteratively picking up features and random value to construct the node (equivalent to step function), then Anomaly score evaluate from average depth of the instance over a forest

$$s(x, \Psi) = \exp^{-\langle h(x) \rangle / c(\Psi)} \quad (4.5)$$

where

- $h(x)$ is the depth in tree h
- $c(\Psi)$ normalization factor growing as $\log_2(\Psi)$ from branching

4.2.3 Autoencoder (AE)

Let start with the hyper-parameters and configurations of our model

Truncated normal initializer

For model weight initializer, we are using truncated normal initializer which basically by putting the cutoff only inside $\pm 2\sigma$ of gaussian distribution as in the Figure 4.2 to prevent some high absolute value that might leading to divergence of model in the training process.

In our case, we set up $\sigma = 1$ and $\mu = 1$

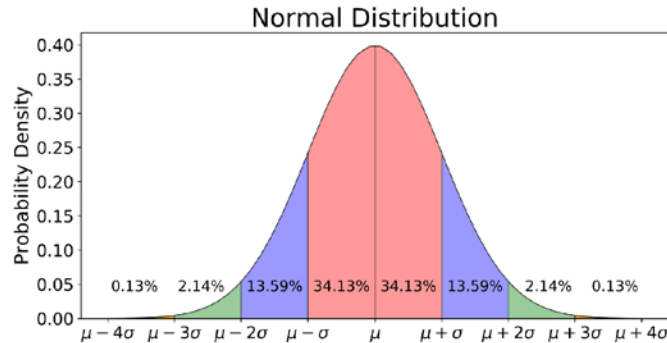


Figure 4.2: Gaussian distribution, retrieved from <https://towardsdatascience.com/understanding-the-68-95-99-7-rule-for-a-normal-distribution-b7b7cbf760c2>

Adam Optimizer

Adam stands for **adaptive moment estimation** [5]. It combines Momentum optimization and RMSProp to keep the residue of the gradients decaying from the previous update. We set up $lr = 10^{-4}$ (learning rate), $\beta_1 = 0.7$ and $\beta_2 = 0.9$.

There are 4 flavours of our autoencoder that we constructed

Vanilla AE

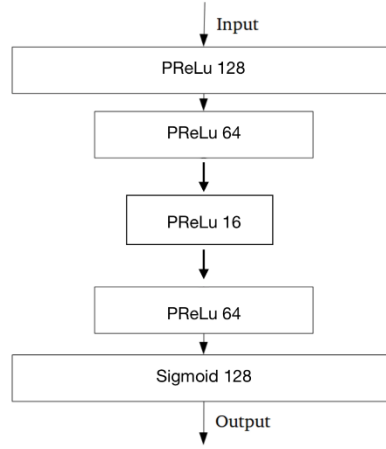


Figure 4.3: *Body of Vanilla AE*

- Concise the information into small latent space and reconstruct the vector $\tilde{x}$ from latent space as in the Figure 4.3
- Loss function is designed by taking the square different reconstructed vector from the latent space and origin vector as equation 4.6

$$\mathcal{L}_{\text{tot}} \equiv \frac{1}{N} \sum_i^N |x_i - \tilde{x}_i|^2 \quad (4.6)$$

Sparse AE

- Similar to Vanilla AE
- Tweak by **L1 Regularizaion (Prevent overfitting)**
- Loss function

$$\mathcal{L}_{\text{tot}} \equiv \frac{1}{N} \sum_i^N |x_i - \tilde{x}_i|^2 + \lambda_s \sum_j ||w_j|| \quad (4.7)$$

- where $\lambda_s = 10^{-5}$

Contractive AE

- Tweak by **Jacobi Matrix** (Prevent variation in dataset)
- Loss function

$$\mathcal{L}_{\text{tot}} \equiv \frac{1}{N} \sum_i^N |x_i - \tilde{x}_i|^2 + \lambda_c \|J_h(x)\|^2 \quad (4.8)$$

- where $\lambda_c = 10^{-5}$
- Definition

$$\|J_h(x)\|^2 \equiv \frac{1}{N} \sum_{ij} \left(\frac{\partial h_j}{\partial x_i} \right)^2 \quad (4.9)$$

- where h_j is activation function
- In our cases
 - PReLU activation function

$$\|J_h(x)\|^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N \sum_j [\alpha_j H(-(w_{jk}x^{ik} + b_j)) + H(w_{jk}x^{ik} + b_j)] \sum_k (w_{jk})^2 \quad (4.10)$$

- Sigmoid activation function

$$\|J_h(x)\|^2 = \frac{1}{N} \sum_{ij} [h_{ij}(1 - h_{ij})] \sum_k (w_{jk})^2 \quad (4.11)$$

Variational AE

- Random “new sampling” in latent space by gaussian random generator as demonstrated in Figure 4.4

$$\mathcal{Z} \equiv \mathcal{N}(\mu_i, \sigma_i) \quad (4.12)$$

- Tweak by **reduce discontinuity in latent space**
- Loss function

$$\mathcal{L}_{\text{tot}} = \frac{1}{N} \sum_i^N |x_i - \tilde{x}_i|^2 + \mathcal{D}_{\text{KL}}(p|q) \quad (4.13)$$

Theorem 1. *How much information is loss after represent data with function could be measured by Kullback-Leibler Divergence*

$$\mathcal{D}_{KL} \equiv \langle \log p - \log q \rangle \quad (4.14)$$

Where p is observed value and q is approximation function
 Since our q is Gaussian function, then D-KL term would looks like

$$\mathcal{D}_{KL,i} = \frac{1}{2} \sum_k^{n_{\text{latent}}} (\mu_{ik}^2 + \sigma_{ik}^2 - 2 \log \sigma_{ik} - 1) \quad (4.15)$$

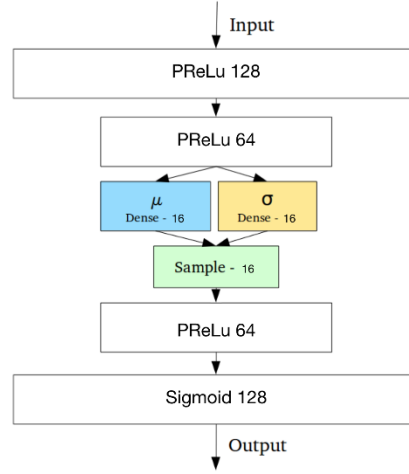


Figure 4.4: *Body of Variational AE retrieved from <https://towardsdatascience.com/intuitively-understanding-variational-autoencoders-1bfe67eb5daf>*

Consequently, loss function of variational autoencoder could be written in the closed form as Equation 4.16

$$\mathcal{L}_{\text{tot}} = \frac{1}{N} \sum_i^N |x_i - \tilde{x}_i|^2 + \frac{1}{2N} \sum_i^N \sum_k^{n_{\text{latent}}} (\mu_{ik}^2 + \sigma_{ik}^2 - 2 \log \sigma_{ik} - 1) \quad (4.16)$$

Chapter 5

Results and Interpretation

5.1 2016 Datasets

5.1.1 Primary Analysis

In order to roughly understand a group (similar patterns) of data, one way to do it is to reduce the dimension of data. In our case, there are 259 features which will be transformed into two-dimension on the basis of two eigenvectors (selected by two largest eigenvalues) belonging to covariance matrix which computed from the datasets.

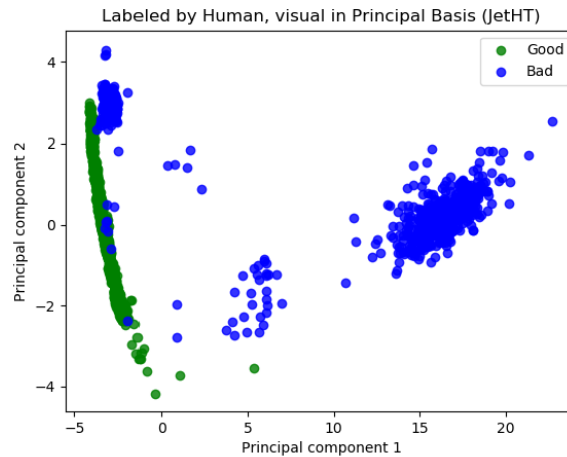


Figure 5.1: *Principal component with the labeled color from the system*

As it can be seen on the green line in Figure 5.1 that there are nice band which is good LS and a few weird LSs that located outside the tubular shape as well as bad LS that could be divided into the bad LS with some patterns and anomaly bad LS which I would call both of them as "outlier". That's essentially the punchline why I called outlier detection instead of anomaly detection.

5.1.2 Performance

By Iteratively retrain the model ten times to make sure that it's working systematically and plot the root mean square as a shady fluctuation in Figure 5.2

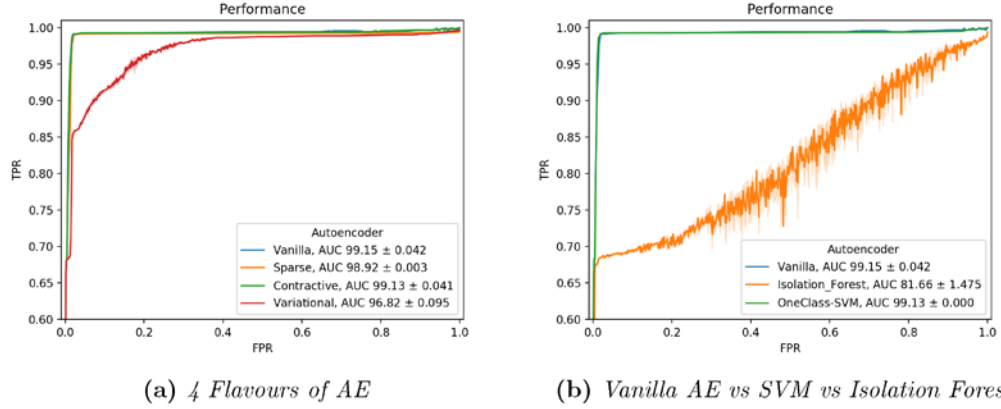


Figure 5.2: Comparative visualization of model performance

To sum up, even there are a fancy mathematical expression of non-vanilla autoencoders but it does not guarantee that we would get the best performance out of it. On the other hand, the simplest AE has the performance among all AE. One other interesting spot is the performance of OneClass-SVM also yields the remarkable results as nearly compatible with Vanilla AE without any fluctuation since the model itself has no randomness and work very straightforward.

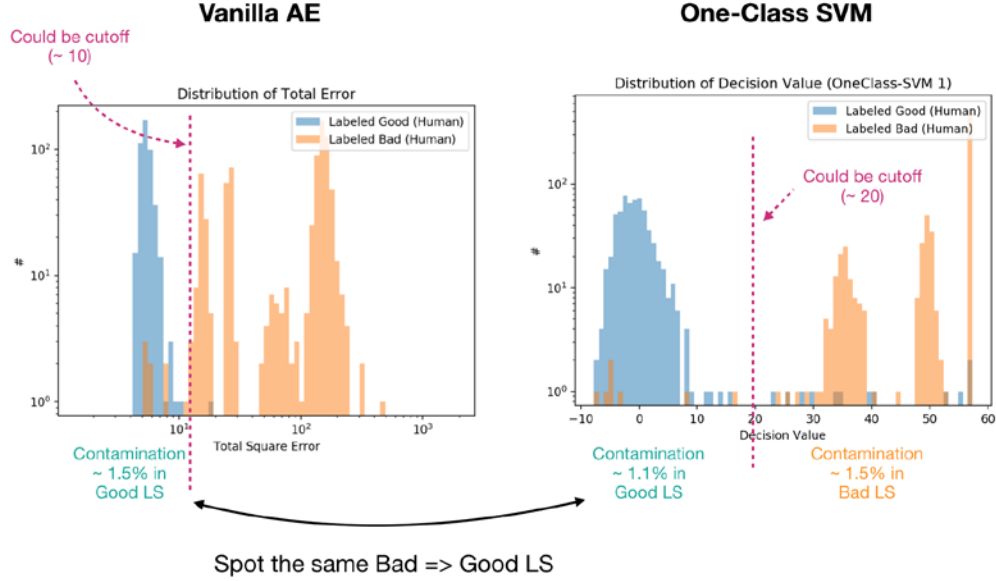
5.1.3 Distribution of decision value (to find the threshold)

The story behind the performance figure is genuinely extracted from the distribution of decision value from Figure 5.3 and slowly moving a threshold of minimal point in the overlapping region of good and bad LS from a label in the distribution until it got the maximal value. The below figures are the comparison between our two great candidates by considering to pick some threshold and see the contamination on each side.

For Vanilla AE, the contamination of bad LS falling into good LS is around 1% over the good LS below the cutoff and there are only a few of good LS falling into bad LS which might be ignorable.

For OneClass-SVM, the contamination LS that bad falling into good LS is almost the same as Vanilla AE does. There is no coincidence for a totally different approach of model train and spot the same thing. This might implicitly imply that it either came from some imperfection of data in the training and testing or some kind of malfunction in the sub-system could not propagate into JetHT physics objects.

As can be seen in the distribution, there is no clear grey zone for this study so far.

Figure 5.3: *Distribution of decision value*

5.1.4 Example of square error from reconstruction

Figure 5.4 shows the example of LS reconstruction which calculated from x and $\tilde{x}$ between good and bad LS.

5.1.5 Extended Investigation

It may be questioned why many of bad LS seems to have a group of bad LS as you have seen in the plot of hyperspace and few collections of bad LS in decision value distribution (As the black arrow that links between the distribution and 2D-hyperspace). In this section, I want to explicitly prove that the model really sees that the right cluster is the worse bad LS and closer to tubular is less bad LS which decision value has to be quite similar to good LS. In order to prove that, I choose our best candidate to shade the decision value as z-axis color to represent how bad LS in each data point is as in Figure 5.5. The result strongly agrees that there are obvious bad lumisection and less badness as it gets closer to the green band.

5.2 2018 Datasets

5.2.1 Primary Analysis

For 2018 data, we dig a bit more to understand which cause the badness of bad LS by taking sub-system label into account from RR's API. There is plenty of sub-systems in CMS detector. In order to roughly understand the malfunction of sub-system, we decided to pull label only for HCAL, ECAL, TRACKER and MUON detector which are the main part of the detector.

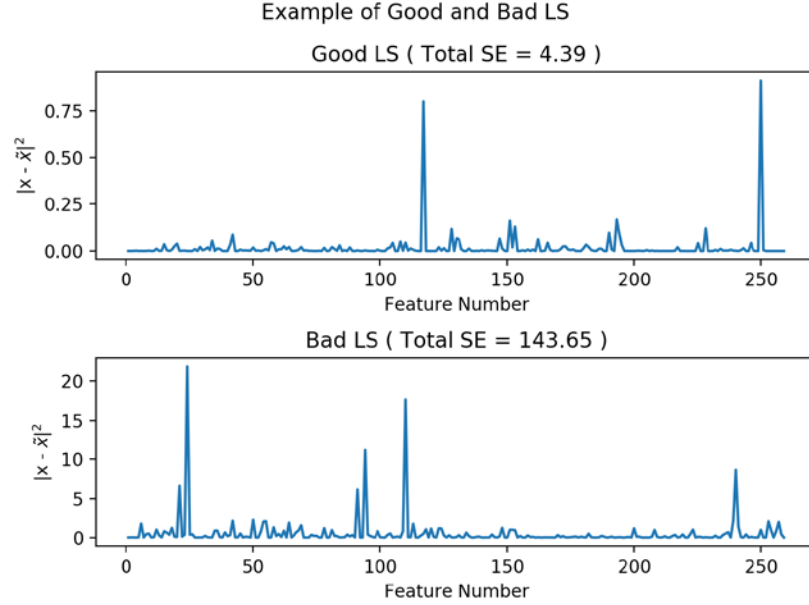


Figure 5.4: *Reconstruction error from Vanilla AE*

To roughly describe each feature contribute to each principal component, we extract the element in matrix transform (equivalent to an element in each eigenvector) and take the absolute value to consider only for the magnitude and ignore the direction in the space where it directly proportional to the contribution of each one. The spectrum of contribution will provide in the following hyperspace of each primary dataset.

According to Figure (5.6, 5.7, 5.8, 5.9), It's obviously to tell that the cluster of outlier are mainly consists of malfunction from MUON and TRACKER sub-detector. Not only the outlier that has an interesting pattern but clustering in inlier is also remarkably considerable as clustering mainly from a malfunction of ECAL and HCAL that located near or inside the green band.

Please note that the calculation of the matrix transform exclude failure scenario since it's a fake data and it might leading to a weird correlation in covariance matrix. The following list is the list of important features that highly correlated to the rest of them in our dataset

- From Figure 5.6, qpVt in transverse direction and qSignalEta contribute in first component. Secondly, second component mostly consists of qPUEvt and qlumiEvt. Lastly, there are overlapping feature where both of them sharing the different value which are qSignalPhi and qpVtxChi2.
- Regarding Figure 5.7, qglobTkChi2 and qpVtx in perpendicular direction of the beam are dominated in first component and second component mostly consists of qPUEvt, qMuN and qMuNCh orderly. The only overlapping feature in SingleMuon is qglobTkN-Hits.

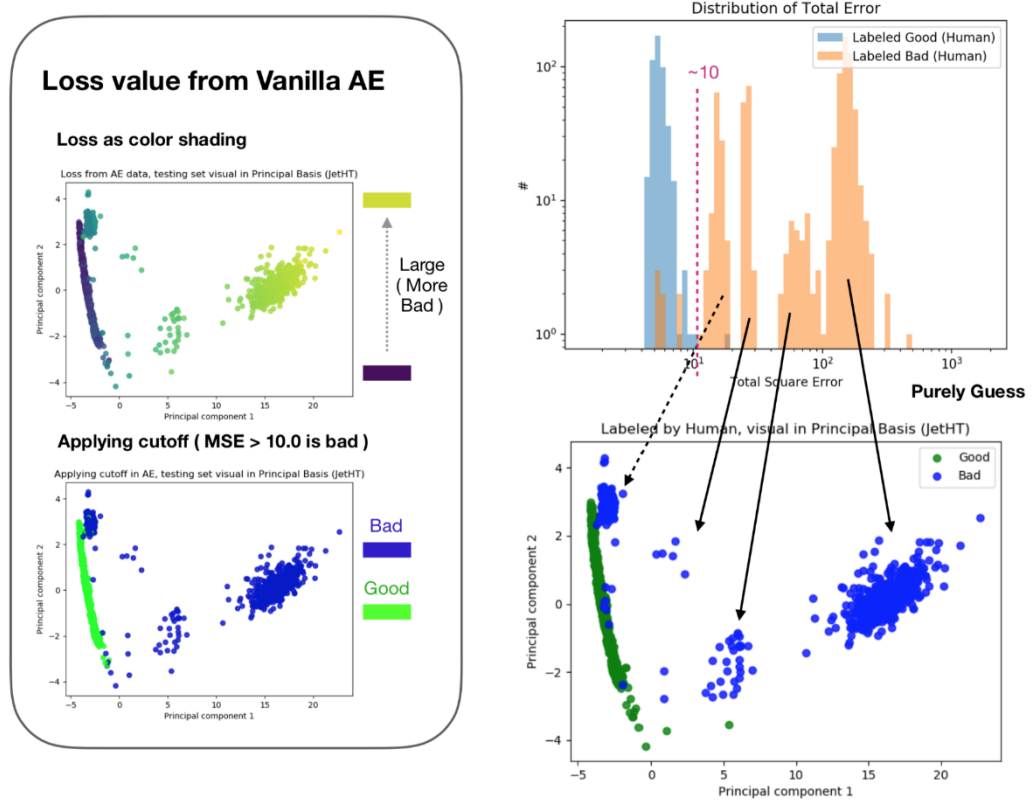


Figure 5.5: Colorize reconstruction error from Vanilla AE

- For ZeroBias in Figure 5.8, both $qgTkPt$ and $qgTkPhi$ highly dominate in first component. Second component has smaller correlation which the features are $qPUEvt$, $qlumiEvt$ and $qgTkN$.
- First component are constantly dominated to $qCalJetN$, $qCalJetPt$ and $qPUEvt$ orderly according to Figure 5.9. Feature $qpVtxChi2$, $qPFMetPt$ and $qPFJetEta$ also fairly equally contribute to the second component.

5.2.2 Performance

1) Include low statistics (fill null with zero) and testing with only bad LS form human

Train with feature set 1 and the result has shown in Figure 5.10.

The performance of AE for EGamma primary dataset is totally inefficient and even worse than randomly picking up which means that the model even saw most of bad LS even looks better than many good LS in the testing datasets. The rest of them is fairly acceptable but still not enough to exploit in the real system. Another interesting spot is the performance

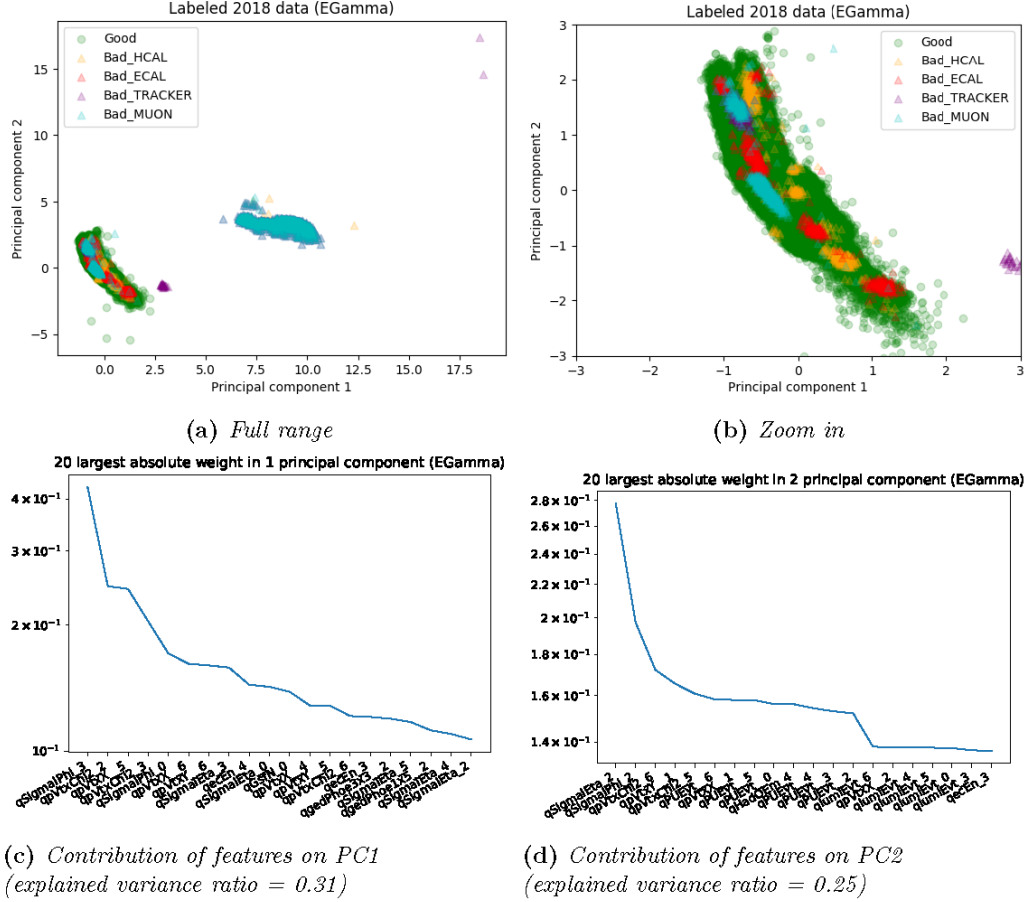


Figure 5.6: Two principal components of EGamma

between a couple of AE in SingleMuon PD.

Figure 5.11 has demonstrated that even extended model has been combined various constraints that we know but it still not improves any further in terms of performance. Nevertheless, it has remarkable stability, especially for ContractiveVariational AE.

2) Exclude low statistics (Filter LS that has low EventsPerLs with value in the settings)

Train with feature set 1 and the result has shown in Figure 5.12. We also perform an extended autoencoder for testing with this case, Figure 5.13 has shown the stability and smoothness of the threshold as we have seen in Figure 5.11.

Distribution of decision value (to find the threshold)

The distribution of decision value could be seen in Figure 5.14

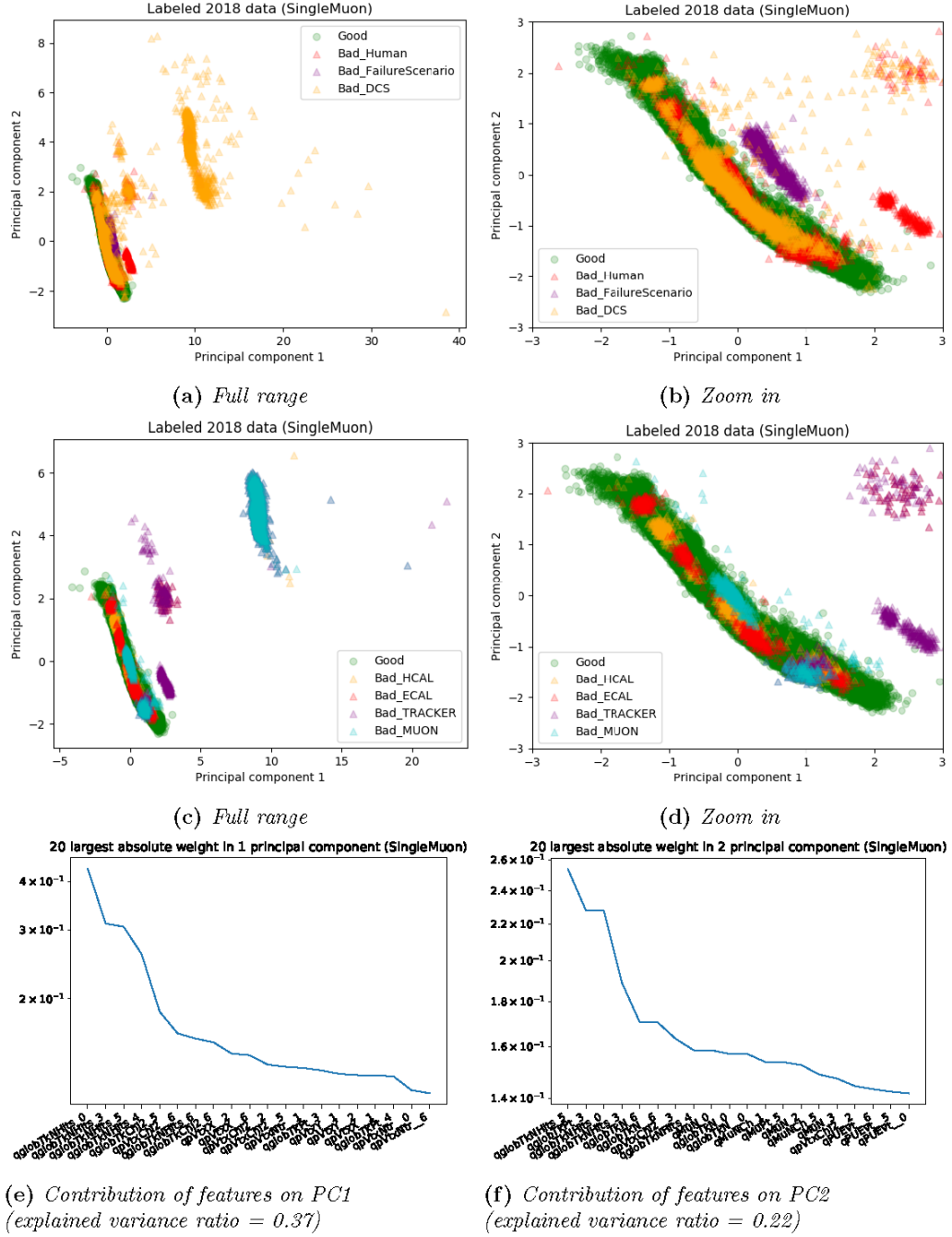


Figure 5.7: Two principal components of Single Muon

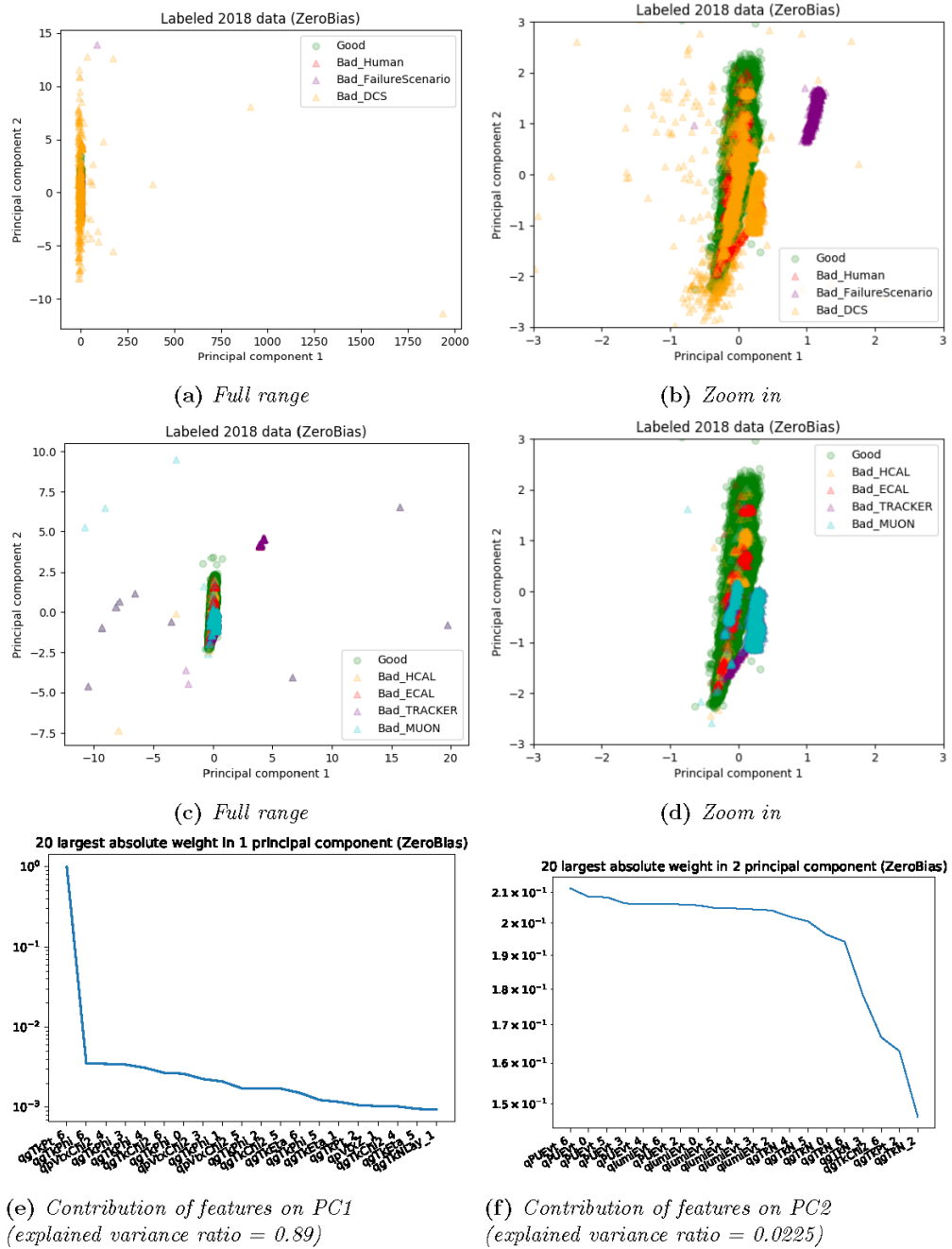


Figure 5.8: Two principal components of ZeroBias

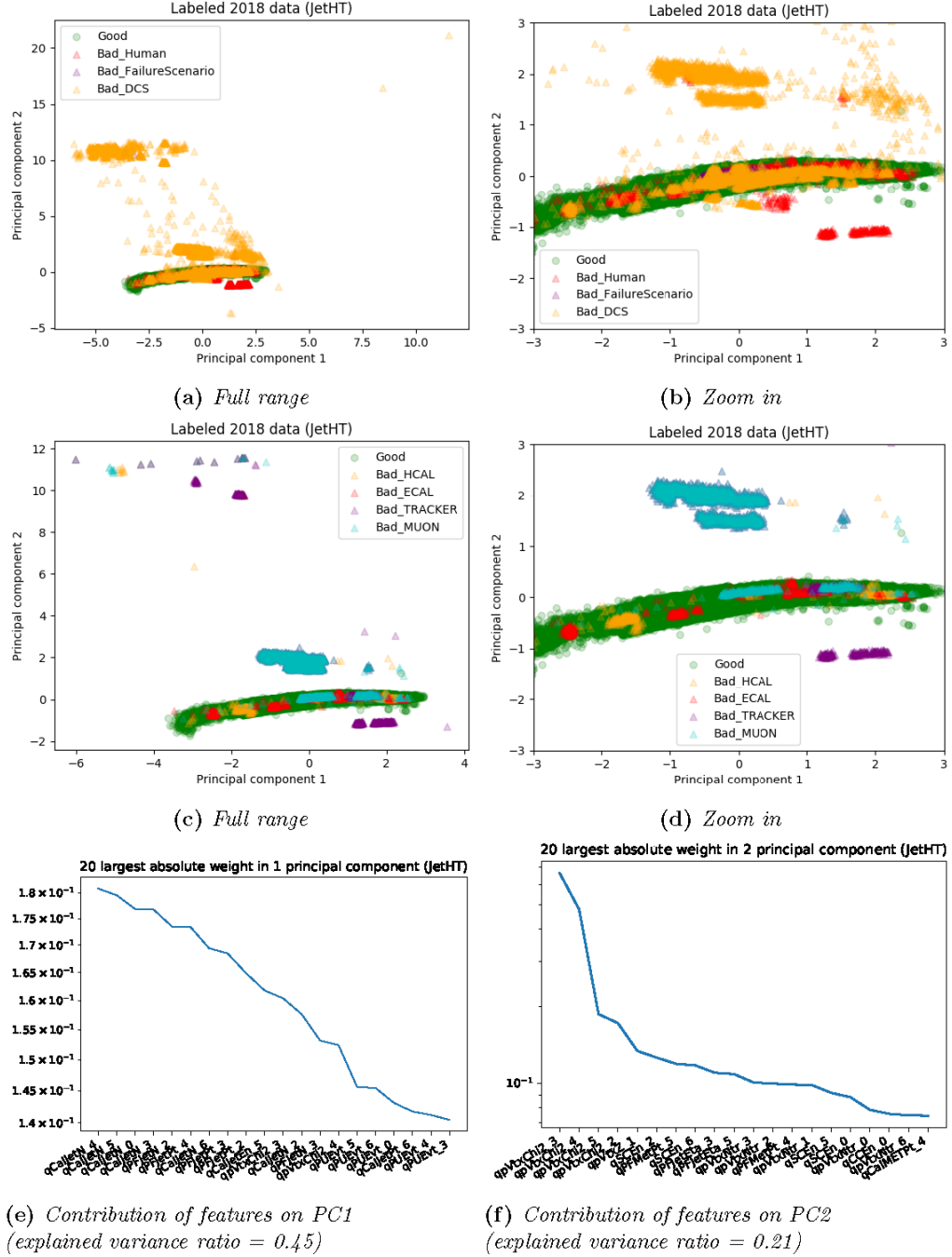


Figure 5.9: Two principal components of JetHT

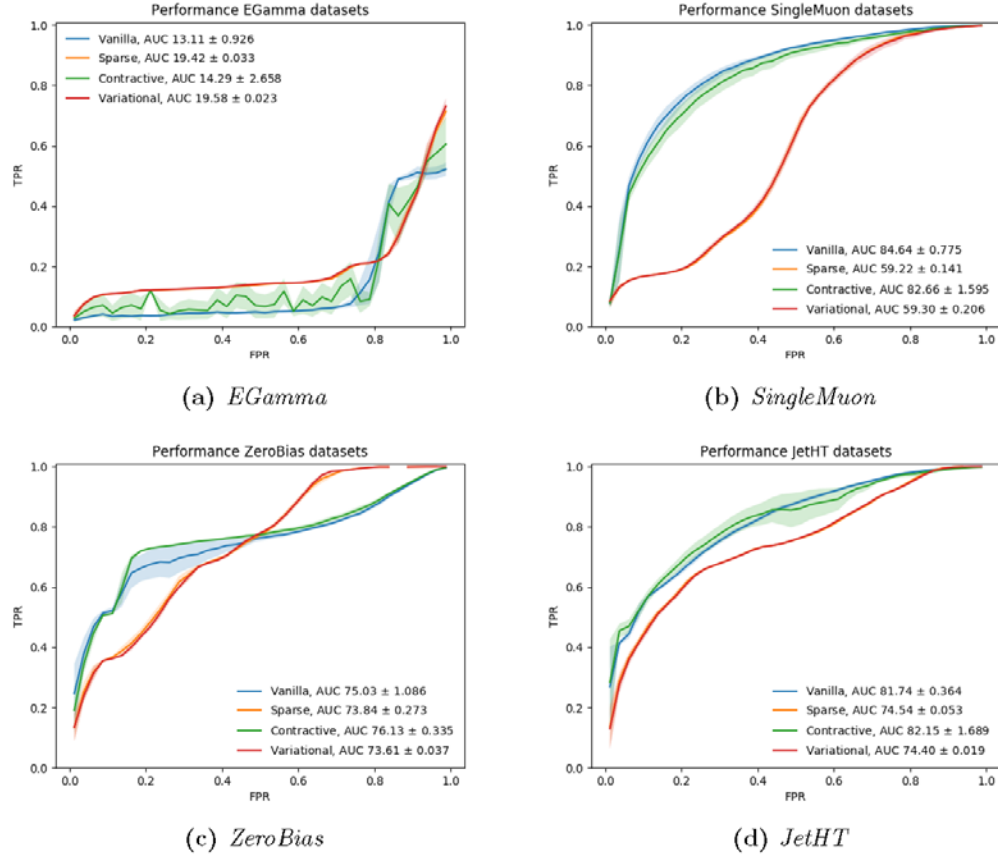


Figure 5.10: Model performance for feature set 1 with 2018 data

Reconstruction Error

Regarding Figure 5.15, the peak around feature 50 in good LS is qglobTkN. Secondly, the couple clump around feature 80 is qglobTkChi2. The next pile is qglobTkNHits as well as last fork shape in around feature hundred dominated by qMuNCh.

According to Figure 5.16, the residue in feature number 20 to 30 is qpVtxY. There are two huddles in bad LS where it mainly consists of qgTkPt, qgTkEta, and qgTkPhi. The clump in good LS around 70 to 80 mostly is qgTkPhi and qgTkN.

Lastly, by considering Figure 5.17. Features that contain a very first peak in bad LS is qpVtxChi2. Secondly, around feature number 80 to 90 are qPFMetPt and qPFMetPhi. Lastly, there are the last two chunks of features (120-127 and 130-145) that behave like a noisy for both good and bad LS. Highly correlated features that show similar features (15-35) are qpVtxX, qpVtxY, and qpVtxZ.

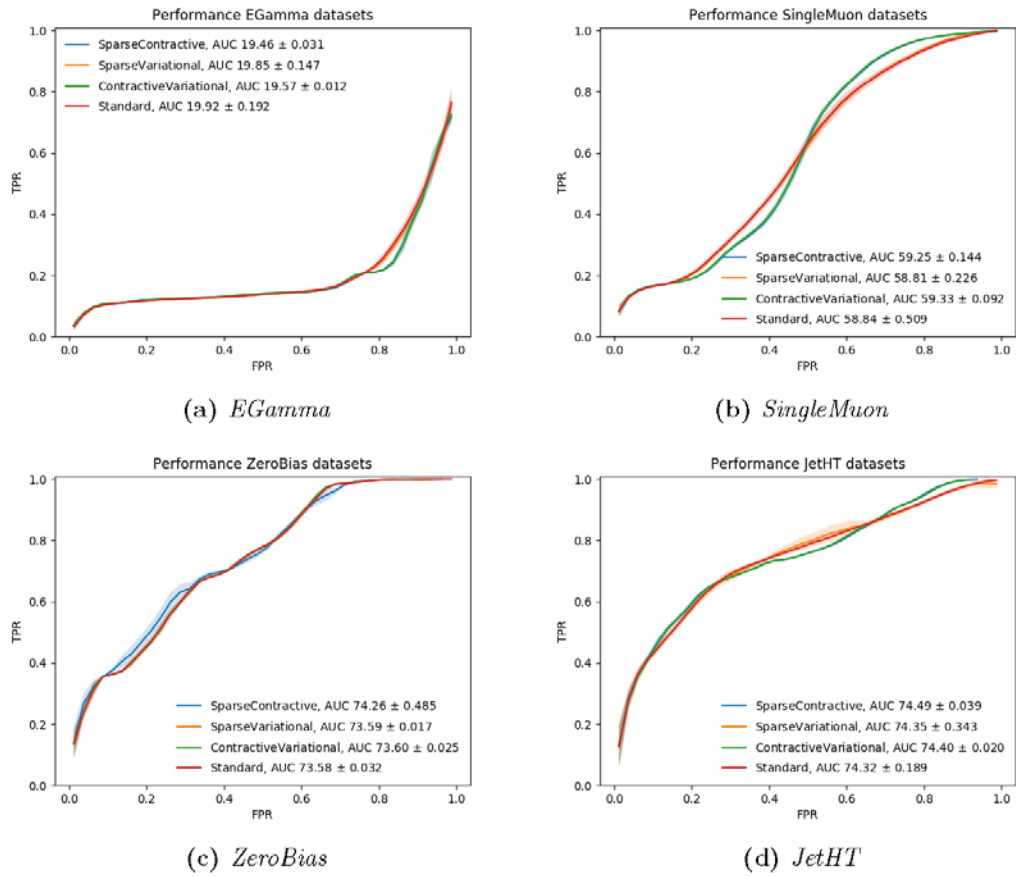


Figure 5.11: Extended model performance for feature set 1 with 2018 data

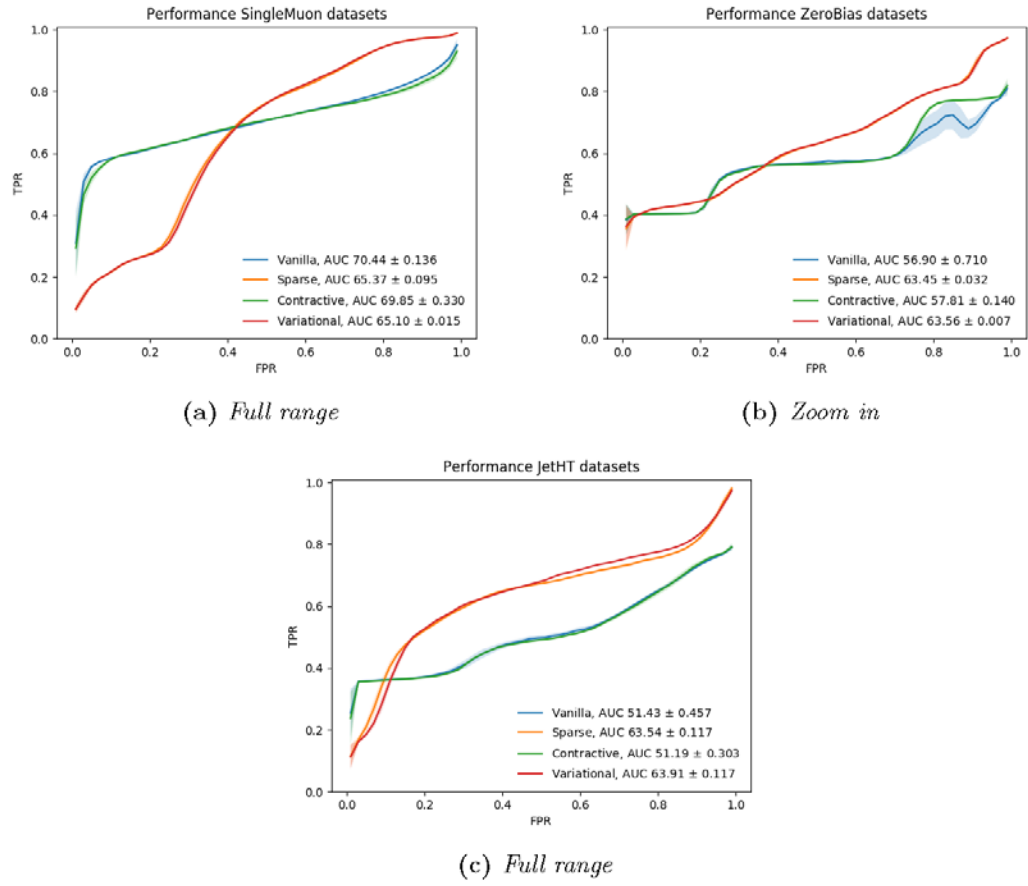


Figure 5.12: Model performance for feature set 2 with 2018 data

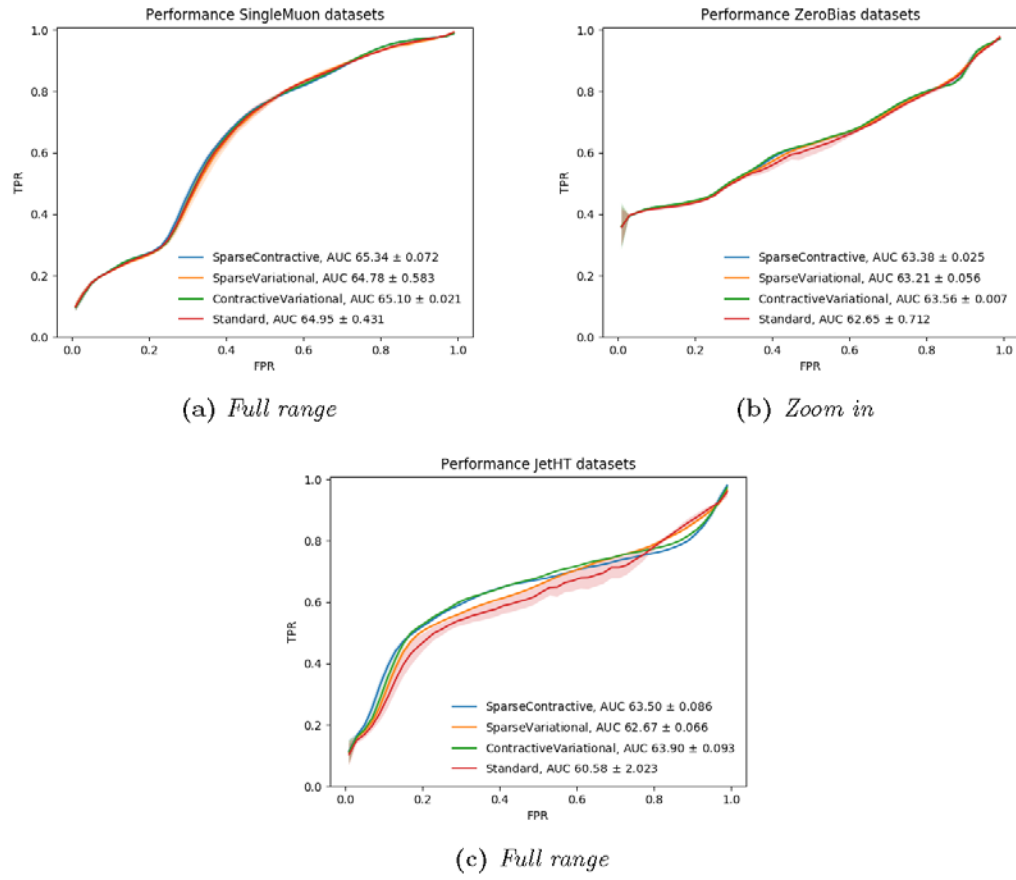


Figure 5.13: Extended model performance for feature set 2 with 2018 data

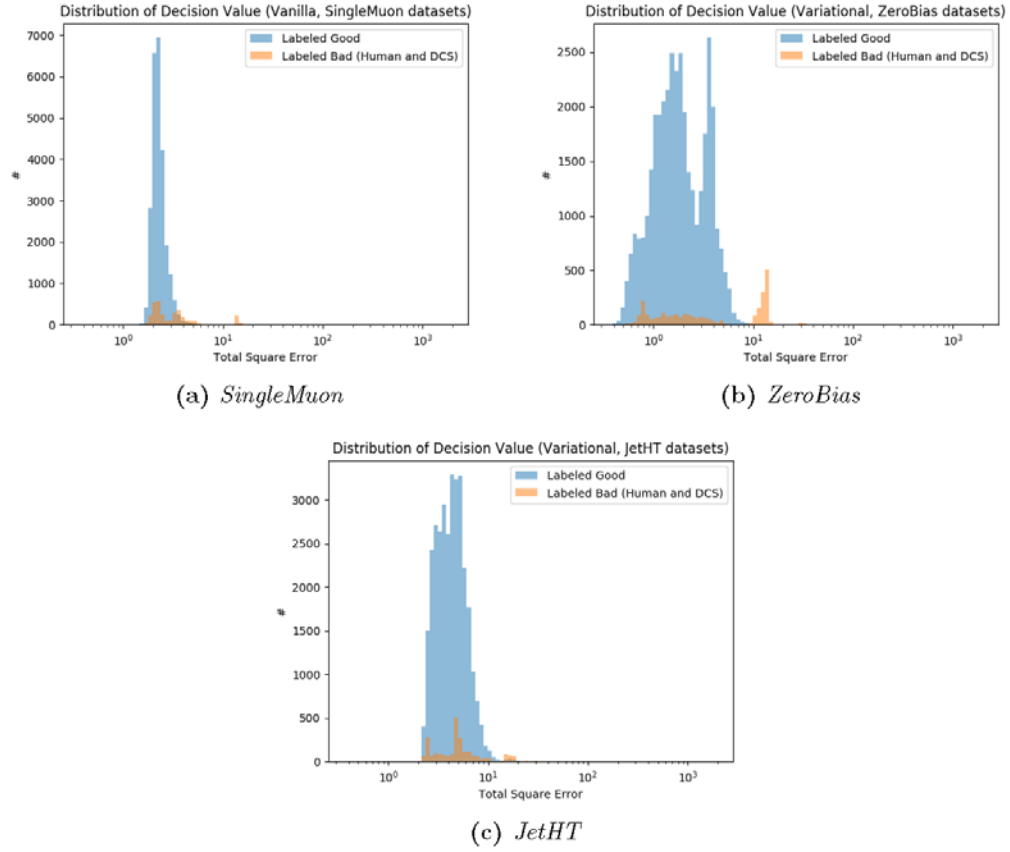


Figure 5.14: Distribution of decision value

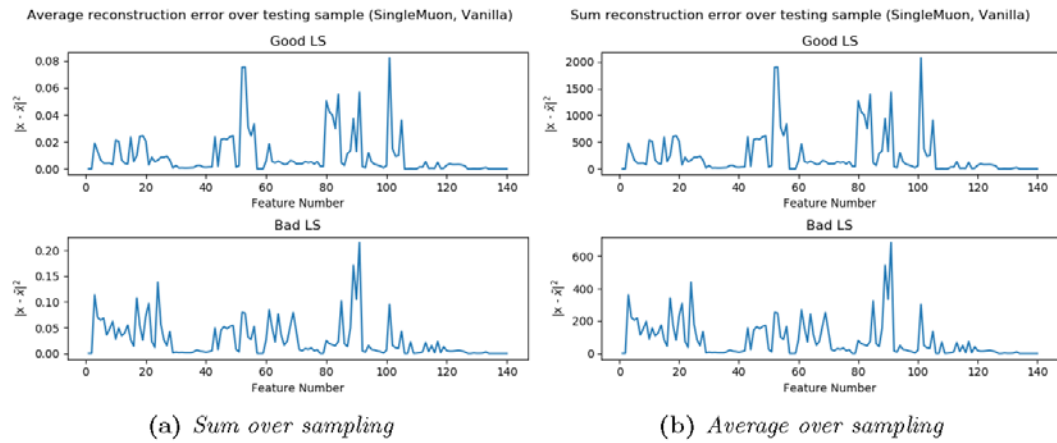


Figure 5.15: Reconstruction error of SingleMuon

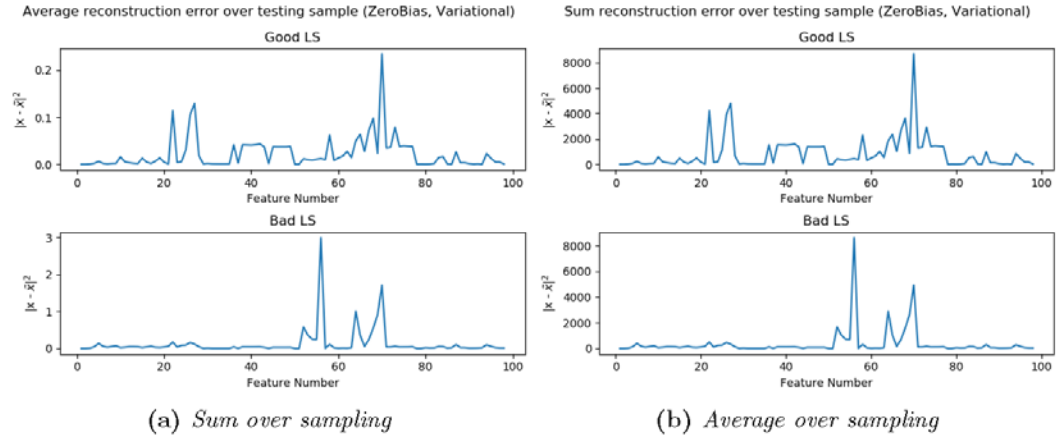


Figure 5.16: Reconstruction error of ZeroBias

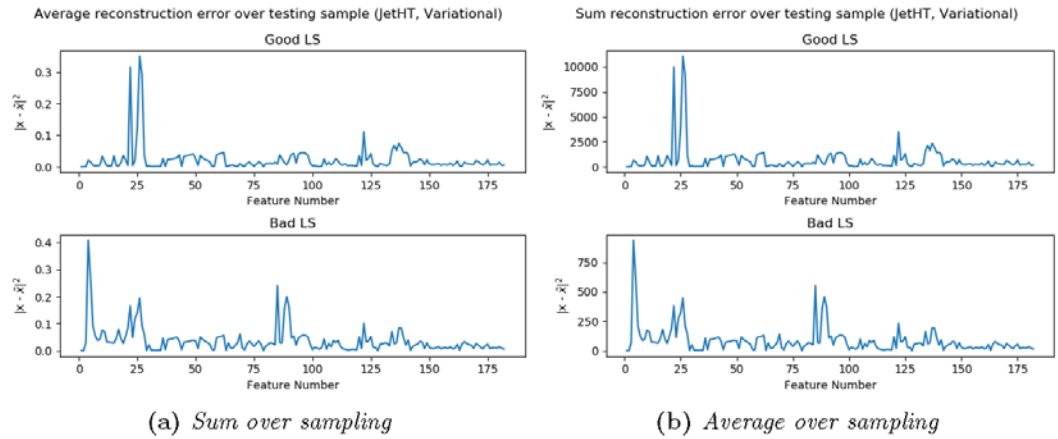


Figure 5.17: Reconstruction error of JetHT

Chapter 6

Conclusions

- Semi-supervised learning yields a remarkable result and well describe outlier LS
- So far, there is no grey zone from our model for this dataset
- Bad LS could be divided into two parts
 - Bad with some pattern
 - Anomaly

Bibliography

- [1] Barney, D. [2016], CMS Detector Slice. CMS Collection.
URL: <https://cds.cern.ch/record/2120661>
- [2] Cittolin, S., Rcz, A. and Sphicas, P. [2002], *CMS The TriDAS Project: Technical Design Report, Volume 2: Data Acquisition and High-Level Trigger. CMS trigger and data-acquisition project*, Technical Design Report CMS, CERN, Geneva.
URL: <http://cds.cern.ch/record/578006>
- [3] Committee, C. G. L. E. [1997], ‘The CMS muon project’.
- [4] Fiori, F. [2019], ML Applied To Data CertificationStatus and Perspective.
- [5] Kingma, D. P. and Ba, J. [2014], ‘Adam: A Method for Stochastic Optimization’, *arXiv e-prints* p. arXiv:1412.6980.
- [6] Liu, F. T., Ting, K. M. and Zhou, Z. [2008], Isolation forest, *in* ‘2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining’, pp. 413–422.
- [7] P Bauer, G., Bawej, T., Behrens, U., Branson, J., Chaze, O., Cittolin, S., Coarasa, J., Darlea, G.-L., Deldicque, C., Dobson, M., Dupont, A., Erhan, S., Gigi, D., Glege, F., Gomez-Ceballos, G., Gomez-Reino, R., Hartl, C., Hegeman, J., Holzner, A. and Zejdl, P. [2014], ‘Automating the cms daq’, *Journal of Physics: Conference Series* **513**, 012031.
- [8] Scholkopf, B., Williamson, R., Smola, A., Shawe-Taylor, J. and Platt, J. [1999], Support vector method for novelty detection, *in* ‘Proceedings of the 12th International Conference on Neural Information Processing Systems’, NIPS’99, MIT Press, Cambridge, MA, USA, pp. 582–588.
URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3009657.3009740>



POWER OF INNOVATION
FOUNDATION

