การสร้างแบบจำลองแบบผสมผสานระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองเชิงกลไกสำหรับการแพร่ระบาดของโรคเลปโตสไปโรซิสที่ขับเคลื่อนด้วยปัจจัยสิ่งแวดล้อม: หลักฐานจากประเทศไทย

*Sumet Khumphairan, Sudarat Chadsuthi, Peter Fransson, Yichao Liu, **Charin Modchang**, Joacim Rocklöv, and Ekaterina Kostina*

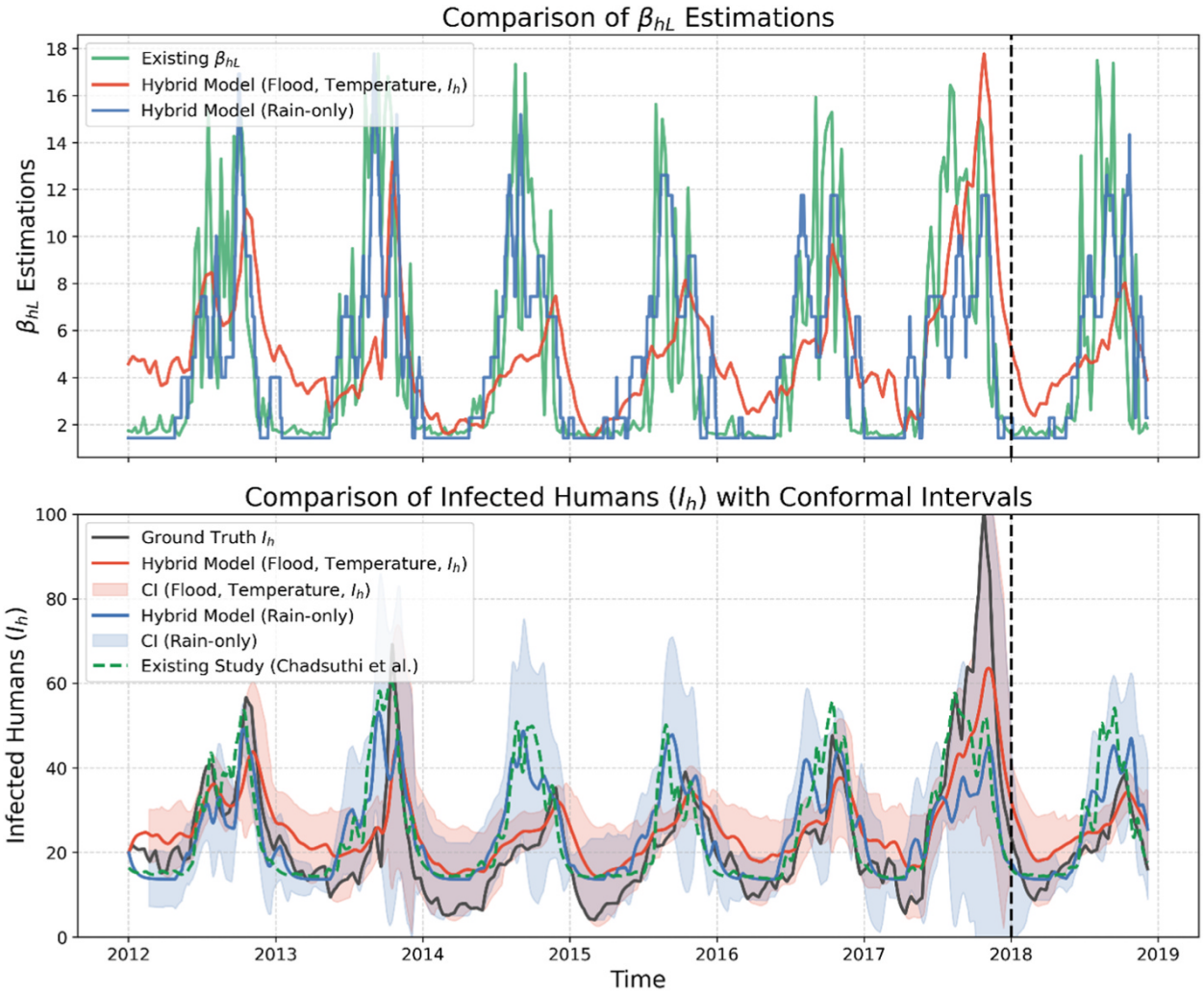
หลักการและเป้าหมาย: โรคเลปโตสไปโรซิสเป็นโรคติดเชื้อแบคทีเรียที่ร้ายแรง แพร่กระจายผ่านน้ำและดินที่ปนเปื้อนเชื้อจากสัตว์ที่ติดเชื้อ โดยมีผู้ป่วยทั่วโลกประมาณหนึ่งล้านรายและเสียชีวิตราว 60,000 รายต่อปี ในประเทศไทย การระบาดมีรูปแบบตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยพุ่งสูงในช่วงฝนตกหนักและน้ำท่วมของฤดูมรสุม โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรชนบทและเกษตรกร การทำนายการระบาดเหล่านี้เป็นเรื่องยาก เนื่องจากอัตราการแพร่ของโรคเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามสภาพอากาศ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิมมักสมมติว่าอัตราการแพร่นี้คงที่ ในขณะที่แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลล้วน ๆ สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้แต่ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกทางชีววิทยาเบื้องหลังได้น้อย คณะผู้วิจัยจึงมุ่งสร้างแบบจำลองแบบผสมผสานที่รวมจุดแข็งของทั้งสองแนวทางเข้าด้วยกัน โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ว่าอัตราการแพร่เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรตามเวลา ควบคู่กับการคงโครงสร้างทางชีววิทยาของแบบจำลองโรคแบบคลาสสิก เพื่อประมาณค่าและพยากรณ์การแพร่ระบาดของโรคเลปโตสไปโรซิสในประเทศไทยได้ดียิ่งขึ้น

สรุป: ทีมวิจัยพัฒนากรอบการทำงานแบบผสมผสานที่จับคู่โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Long Short-Term Memory (LSTM) ซึ่งเป็นปัญญาประดิษฐ์ประเภทหนึ่งที่ออกแบบมาเพื่อค้นหารูปแบบในข้อมูลอนุกรมเวลา เข้ากับแบบจำลองเชิงช่อง (compartmental model) ที่ติดตามการเคลื่อนของการติดเชื้อระหว่างคน สัตว์ และสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อน โครงข่ายประสาทเทียมทำหน้าที่เรียนรู้อัตราการแพร่เชื้อสำคัญจากสิ่งแวดล้อมสู่คน โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝน น้ำท่วม และอุณหภูมิที่ได้จากดาวเทียม ร่วมกับจำนวนผู้ป่วยที่รายงาน ด้วยข้อมูลเฝ้าระวังโรครายวันตั้งแต่ปี 2555 ถึง 2561 คณะผู้วิจัยฝึกและทดสอบแบบจำลองสิบรูปแบบที่สร้างจากการผสมปัจจัยนำเข้าเหล่านี้ในแบบต่าง ๆ จากนั้นเปรียบเทียบแต่ละแบบกับจำนวนผู้ป่วยจริงและกับงานวิจัยแบบจำลองก่อนหน้า

ผลที่ได้: แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดซึ่งผสมผสานข้อมูลน้ำท่วม อุณหภูมิ และจำนวนผู้ป่วย สามารถทำนายการติดเชื้อได้แม่นยำกว่างานวิจัยแบบจำลองก่อนหน้าอย่างมาก โดยลดค่าความคลาดเคลื่อนสำคัญตัวหนึ่งลงได้ประมาณ 61% ที่สำคัญคือแบบจำลองที่สร้างจากข้อมูลสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนหรือน้ำท่วม ยังคงพยากรณ์การระบาดได้ดีโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลผู้ป่วย ทำให้มีประโยชน์เมื่อข้อมูลเฝ้าระวังล่าช้าหรือไม่สมบูรณ์ การศึกษานี้ยังพบว่าการเพิ่มตัวแปรให้มากขึ้นไม่ได้ช่วยให้ดีขึ้นเสมอไป การผสมปัจจัยที่เรียบง่ายกว่ามักให้ผลที่ใช้ได้ทั่วไปได้ดีกว่าแบบที่ซับซ้อน แนวทางนี้ยังมีความทนทานแม้เมื่อการรายงานผู้ป่วยถูกจำลองให้ล่าช้าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง และเนื่องจากอาศัยข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่เป็นประจำ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเตือนภัยล่วงหน้าในพื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด แม้จะสาธิตกับโรคเลปโตสไปโรซิสในที่นี้ กรอบการทำงานเดียวกันนี้สามารถปรับใช้กับโรคอื่น ๆ ที่ขับเคลื่อนด้วยปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ไข้เลือดออก อหิวาตกโรค และมาลาเรียได้

ทุนวิจัยและกิตติกรรมประกาศ: National Research (NU) and the National Science, Research and Innovation Fund (NSRF) (Grant Agreement No. R2568B013), and the Pandasia project funded by the European Union's Horizon Europe research and innovation programme (Grant Agreement No. 101095444).

เป้าหมาย SDGs ที่เกี่ยวข้อง: 3. การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี



สรุปภาพ: การเปรียบเทียบการประมาณค่าอัตราการแพร่เชื้อ (β_{hL}) และจำนวนผู้ติดเชื้อที่เป็นมนุษย์ (I_h) ระหว่างแบบจำลองไฮบริดที่นำเสนอกับงานวิจัยก่อนหน้า **(ด้านบน)** ค่าประมาณของอัตราการแพร่เชื้อ $\beta_{hL}(t)$ ตามเวลา เส้นสีส้มคือแบบจำลองไฮบริดที่ใช้น้ำท่วม อุณหภูมิ และจำนวนผู้ป่วย (I_h) เส้นสีน้ำเงินคือแบบจำลองที่ใช้น้ำฝนอย่างเดียว และเส้นสีเขียวคืองานวิจัยก่อนหน้า **(ด้านล่าง)** การทำนายจำนวนผู้ติดเชื้อ $I_h(t)$ เส้นสีดำคือข้อมูลความจริงพื้นฐาน เส้นสีส้มคือแบบจำลองไฮบริดที่ใช้น้ำท่วม อุณหภูมิ และ I_h เส้นสีน้ำเงินคือแบบจำลองไฮบริดที่ใช้น้ำฝนอย่างเดียว ส่วนเส้นสีเขียวจำลองจากงานวิจัยก่อนหน้า พื้นที่แรเงาแสดงช่วงความเชื่อมั่นเชิง conformal 95% ของแต่ละแบบจำลองไฮบริด (สีส้มและสีน้ำเงิน) คำนวณด้วยหน้าต่างการสอบเทียบแบบเลื่อน 50 วัน เส้นประแนวตั้งแสดงจุดแบ่งระหว่างชุดฝึกและชุดทดสอบ (สิ้นปี 2560)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง:

Khumphairan S, Chadsuthi S, Fransson P, Liu Y, **Modchang C**, Rocklöv J, and Kostina E. Hybrid neural–mechanistic modeling of leptospirosis transmission with environmental drivers: Evidence from Thailand. *Computers in Biology and Medicine*. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2026.111632