



การพัฒนามิเตอร์และระบบการจัดการน้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัวร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เฉลิมชาติ มานพ* และ นิรุช จิรสวรรณกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สกนธ์ คล่องบุญจิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-4160-1572 อีเมล: kmchaler@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.015

รับเมื่อ 20 มกราคม 2560 ตอรับเมื่อ 27 มิถุนายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 12 มกราคม 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบและพัฒนามิเตอร์น้ำบาดาลระบบสมองกลฝังตัวทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์และระบบฐานข้อมูลที่ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สำหรับใช้ตรวจติดตามและบันทึกปริมาณการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำบาดาลประเภทอุตสาหกรรมในพื้นที่ประเทศไทยทั้งระยะทางไกลและระยะทางไกล นอกจากนี้ยังได้พัฒนาระเบียบวิธีการประมวลผลสัญญาณสำหรับตรวจสอบความผิดปกติของการใช้น้ำจากข้อมูลการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ผ่านอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ได้ติดตั้งไว้ร่วมกับมิเตอร์น้ำและระบบสมองกลฝังตัว โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลบนซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานแบบเวลาจริงพร้อมระบบการรายงานผลและแจ้งเตือนต่อผู้ควบคุมและผู้ใช้น้ำ จากการจำลองการทำงานของระบบด้วย MATLAB Simulink เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระเบียบวิธีการตรวจสอบการใช้น้ำบาดาล พบว่าให้ผลลัพธ์สอดคล้องกันกับการทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในการทดลองภาคสนาม

คำสำคัญ: มิเตอร์น้ำบาดาล, ระบบสมองกลฝังตัว, การประมวลผลสัญญาณ, ซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

การอ้างอิงบทความ: เฉลิมชาติ มานพ นิรุช จิรสวรรณกุล และ สกนธ์ คล่องบุญจิต, “การพัฒนามิเตอร์และระบบการจัดการน้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัวร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 51-61, ม.ค.-มี.ค. 2561.

Development of Groundwater Metering and Management System Using Embedded Computer and Web-based Application Software

Chalermchat Manop* and Nirudh Jirasuwankul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Sakon Klongboonjit

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author: Tel: 08-4160-1572, E-mail: kmchaler@hotmail.com: DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.015

Received 20 January 2017; Accepted 27 June 2017; Published online: 12 January 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In this paper, development of smart metering and management system for groundwater utilization is proposed. It has been designed as a tool to monitor and record quantity of groundwater usage, from both short and long distance, industrial users in Thailand. The system comprises of embedded computer, groundwater metering unit and web-based software for monitoring and management. Moreover, online signal processing algorithm has been developed and used to detect fraudulent groundwater usage. The real-time application software processes signals from sensors and builds up supporting information for security warning, decision making and report to the user. By running MATLAB Simulink on fraudulent detection algorithm, the simulation results are found compatible to data that collected from the field test of smart metering system.

Keyword: Groundwater Meter, Embedded Computer, Signal Processing, Web-based Application Software

Please cite this article as: C. Manop, N. Jirasuwankul, and S. Klongboonjit, "Development of groundwater metering and management system using embedded computer and web-based application software," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 1, pp. 51–61, Jan.–Mar. 2018 (in Thai).



1. บทนำ

ความต้องการใช้น้ำบาดาลในประเทศไทยทั้งจากภาครัฐและเอกชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเอกชนมีแนวโน้มสูงมากขึ้นตามสภาวะการเติบโตทางเศรษฐกิจพร้อมกันนั้นแรงผลักดันจากการแข่งขันเชิงธุรกิจเพื่อลดต้นทุนการผลิตและบริการ ทำให้ความต้องการใช้น้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ [1]

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเชิงสิ่งแวดล้อมจากปัญหาภัยแล้งทำให้มีความต้องการใช้น้ำบาดาลมากขึ้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวหากยังคงมีการใช้น้ำบาดาลในอัตราเร่งหรือสูงเกินกว่าอัตราการเติมน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ หรือการฟื้นตัวของแหล่งน้ำบาดาล จะทำให้เกิดผลกระทบที่สำคัญทางธรณีวิทยาได้แก่ การทรุดตัวของชั้นดิน [2], [3] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างอาคารและสาธารณูปโภคต่างๆ รวมทั้งกระทบต่อการจัดการปัญหาน้ำท่วม ดังนั้นเพื่อให้ภาครัฐโดยหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับและควบคุมการใช้น้ำบาดาลตามกฎหมายคือ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ให้สามารถติดตามสถานการณ์การใช้น้ำบาดาลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีระบบเพื่อติดตามและบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่แม่นยำและสามารถวัดได้แบบเวลาจริง เพื่อทดแทนวิธีการแบบเดิมของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในปัจจุบัน ที่ใช้แรงงานคนในการจดบันทึกและรายงานผล [4] จะช่วยให้สามารถวางแผนเพื่อกำหนดวิธีการควบคุมที่สอดคล้องตามความเป็นจริงและแก้ไขปัญหาการใช้น้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังเป็นการทดลองสร้างระบบต้นแบบในการวิจัยระยะที่ 1 ตามความต้องการของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานและประเมินทางเทคนิคเบื้องต้น และมีเป้าหมายการวิจัยในระยะถัดไปเพื่อทดแทนและลดการพึ่งพาหรือนำเข้าระบบสำเร็จรูปจากต่างประเทศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบมิเตอร์น้ำอัจฉริยะต้นแบบขั้นพื้นฐาน โดยใช้เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล สำหรับเป็นเครื่องมือวัดปริมาณการใช้น้ำบาดาลแบบเวลาจริงผ่านระบบสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่ฐานข้อมูลบันทึกการใช้น้ำของผู้ใช้ทุกประเภท ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์

ประยุกต์บนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถใช้งานครอบคลุมพื้นที่ได้ทั้งระยะทางใกล้และระยะทางไกล โดยมีจุดเด่นคือ ความสามารถในการตรวจสอบความผิดปกติการใช้น้ำ นอกจากนั้นโครงสร้างระบบที่ออกแบบไว้สามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์รุ่นใหม่ที่มาพร้อมกับเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ในอนาคตได้อีกด้วย

ตารางที่ 1 เทคนิคการวัดอัตราการไหลและเซ็นเซอร์

เทคนิคการวัด	ชนิดเซ็นเซอร์	สัญญาณวัดทางไฟฟ้า
Diff. Pressure	Orifice Plate	ได้
Positive Disp.	Oval Gear, Rotary	ได้
Velocity	Turbine, Ultrasonic, EM	ได้
Mass	Thermal	ได้

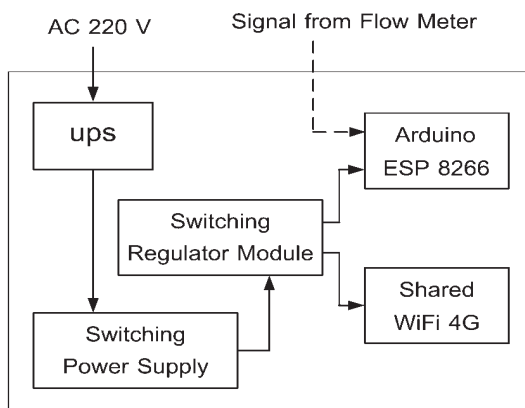
2. เทคนิคการวัดปริมาณการใช้น้ำบาดาล

การวัดปริมาณการใช้น้ำบาดาล มีตัวแปรการวัดที่ต้องการทราบอยู่ 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรแรกเป็นค่าอัตราการไหลต่อหน่วยเวลาจากการใช้น้ำของผู้ใช้ขณะเวลาใดๆ และตัวแปรที่สองเป็นปริมาตรน้ำโดยรวมที่ใช้ไปแบบสะสม ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาและค่าอัตราการไหล เทคนิคการวัดตัวแปรดังกล่าวสำหรับมิเตอร์ทั่วไป จะใช้หลักการหมุนของกังหันน้ำขนาดเล็ก ร่วมกับกลไกการนับรอบและแสดงผลบนหน้าปัดมิเตอร์ที่ใช้หลักการดังกล่าวมีสองชนิด ได้แก่ แบบแอนะล็อก ซึ่งมักจะไม่มีการติดตั้งวงจรสร้างสัญญาณวัดทางไฟฟ้า และแบบดิจิทัล [5] ที่มีการติดตั้งวงจรดังกล่าวมาด้วย นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการวัดอื่นๆ ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับของไหลที่มีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ และเพื่อลดข้อจำกัดในการติดตั้ง เช่น การวัดโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า การวัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงและการวัดโดยใช้กังหันน้ำขนาดเล็ก [6] เป็นต้น โครงสร้างมิเตอร์ที่ใช้เทคนิคทั้งสามประเภทดังกล่าวนี้โดยทั่วไปจะมีสัญญาณการวัดทางไฟฟ้ามาให้ [7] สามารถนำไปประยุกต์ ออกแบบ และสร้างระบบการวัดอัตราการไหลแบบเวลาจริงได้ รวมทั้งสามารถออกแบบให้ทำงานร่วมกันหลายจุดพร้อมกันเป็นเครือข่ายได้ (Sensor Network) เทคนิคการวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ ที่มีใช้

เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน [8] สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งทุกประเภทสามารถนำมาประยุกต์สร้างให้เป็นระบบมิเตอร์อัจฉริยะได้โดยรายละเอียดและเทคนิคการออกแบบสร้างแสดงในหัวข้อถัดไป

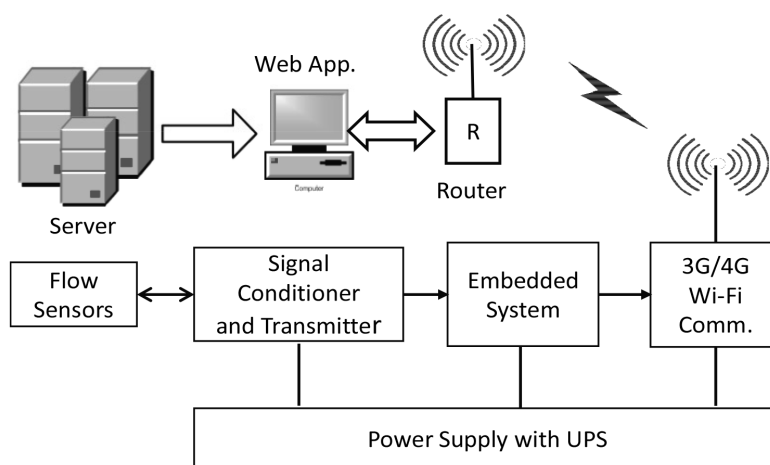
3. การออกแบบสร้างระบบมิเตอร์น้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัว

การรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริงจากมิเตอร์พร้อมกันหลายๆ ตัว จะต้องกำหนดรหัสเฉพาะของมิเตอร์ทั้งหมดไม่ให้ซ้ำกัน เพื่อให้สามารถจำแนกและระบุข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละตัวได้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการระบุรหัสประจำตัวมิเตอร์ด้วยหมายเลขโทรศัพท์ (Subscriber Identity Module Card) เพื่อใช้ประโยชน์การสื่อสารข้อมูลผ่านโครงข่ายสื่อสารไร้สาย Wi-Fi 3G/4G [9]–[11] ซึ่งรองรับการทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่สร้างขึ้นจากภาษา PHP (MySQL) ทำให้ผู้ควบคุมระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลการวัดจากมิเตอร์ได้ทุกตัว โดยข้อมูลจากมิเตอร์ทุกตัวจะถูกเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายที่เป็นที่ตั้งของเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลซึ่งเชื่อมโยงเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ตอีกชั้นหนึ่ง โครงสร้างระบบดังกล่าวที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นผังการทำงานของบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์แบบสมองกลฝังตัวแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ

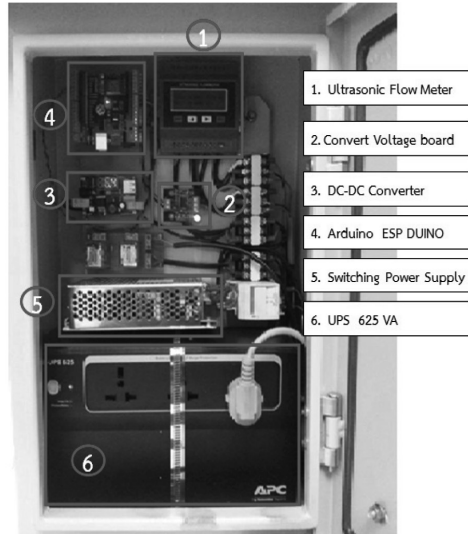


รูปที่ 1 ผังการทำงานของบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์แบบสมองกลฝังตัว

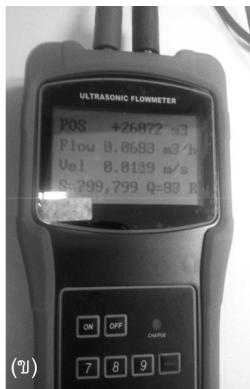
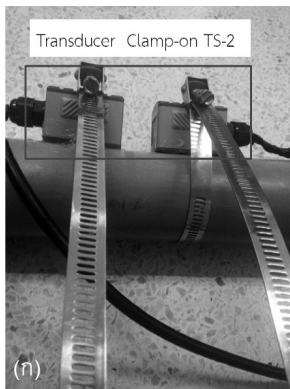
ได้แก่ Arduino ESP 8266 และ WiFi Router พร้อมทั้งแหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply; UPS) แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซิง (Switching Power Supply) และโมดูลคงค่าแรงดันแบบสวิตซิง (Switching Regulator Module) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยให้บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ฝังตัวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซ็นเซอร์เข้าสู่ระบบสมองกลฝังตัวแสดงในรูปที่ 2 อุปกรณ์จริงแสดงในรูปที่ 3 และเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลที่ใช้เป็นแบบอัลตราโซนิกแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 เส้นทางการเชื่อมต่อสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลเข้าสู่ระบบสมองกลฝังตัว และการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายเพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายและฐานข้อมูล



รูปที่ 3 ระบบมองกล้องฝังตัวสำหรับการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลและโมดูลสื่อสารไร้สาย



รูปที่ 4 (ก) เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกที่นำมาใช้งาน และ (ข) มิเตอร์วัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกที่ใช้สำหรับอ้างอิงเปรียบเทียบ

4. ระเบียบวิธีการประมวลผลสัญญาณเพื่อใช้ตรวจสอบความผิดปกติของการใช้น้ำ

4.1 การไหลของน้ำผ่านท่อและปั๊มสูบน้ำ

พิจารณาการไหลของน้ำผ่านท่อโดยใช้กำลังจากปั๊มสูบน้ำ ซึ่งไหลผ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหล แสดงตามรูปที่ 1 จากสมการความต่อเนื่องและสมการเบอร์นูลลี [12] การไหลของน้ำปริมาตร 1 หน่วยลูกบาศก์เมตร จะได้

$$\Sigma P_i + \Sigma \frac{1}{2} \rho_i v_i^2 + \Sigma \rho_i g_i h_i = 0 \quad (1)$$

กำหนดให้น้ำมีความหนาแน่นคงที่ โดยสูบน้ำที่อยู่เบื้องก้นบ่อ และไม่มีความดันอื่นนอกจากความดันที่ต้องการจากปั๊มสูบน้ำ ดังนั้นความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านปั๊มสูบน้ำจะได้

$$v_2 = (2g\Delta h)^{1/2} \quad (2)$$

เมื่อ Δh คือ ความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างก้นบ่อถึงถังพัก อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปจะกำหนดอัตราการไหลเป็นแบบเชิงปริมาตรต่อหน่วยเวลาร่วมกับพื้นที่ หน้าตัดของท่อแทนการกำหนดความเร็วการไหล ดังนั้น

$$\dot{Q} = Av_2 \quad (3)$$

กำหนดให้ P_2 เป็นความดันของน้ำในท่อทางด้านออกหลังปั๊มสูบน้ำ ดังนั้นกำลังทางกลของปั๊มสูบน้ำที่ได้คือ

$$\dot{W}_p = \frac{P_2 \dot{Q}}{\gamma_t} \quad (4)$$

โดยทั่วไปเพื่อให้สูบน้ำได้ $P_2 \geq \rho g \Delta h$ และ γ_t เป็นค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของท่อน้ำทั้งระบบเมื่อสูบน้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่พิกัด เมื่อนำมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ η_m มาขับปั๊มสูบน้ำดังกล่าว จะต้องใช้มอเตอร์ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าอย่างน้อยเท่ากับ

$$\dot{W}_E = \frac{P_2 \dot{Q}}{\eta_m \gamma_t} \quad (5)$$

4.2 การประมวลผลสัญญาณจากการวัด

กำหนดให้ตัวแปรต่างๆ จากการวัดด้วยเซ็นเซอร์และระบบสมองกลฝังตัวทั้งหมด เป็นตัวแปรแบบสุ่ม (Random Variables) เขียนแทนได้ด้วย $x_i(\mu_i, \sigma_i)$ มีคุณสมบัติการกระจายตัวแบบปกติหรือเป็นแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) กำหนดรูปแบบด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ μ_i และ σ_i ดังนั้นโดยนิยามและคุณสมบัติ เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มในระบบที่เราสนใจได้ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบซึ่งนิยามด้วยฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Unbiased Cross Correlation) ของตัวแปรสุ่ม 2 ตัว [13], [14] คือ

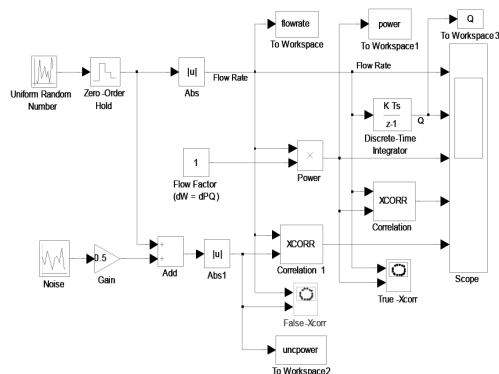
$$C(x, y, m) = E \{ (x_{n+m} - \mu_x)(y_n - \mu_y) \} \quad (6)$$

เมื่อ m, n เป็นตำแหน่งของตัวอย่างข้อมูลโดย $m \geq 0$ และ $-\infty \leq n \leq \infty$

จากสมการที่ (6) แทน x และ y ด้วย \dot{Q} และ \dot{W}_E ที่ได้จากสมการที่ (3) และ (5) ตามลำดับ เมื่อสัญญาณที่ได้จากการวัดเป็นแบบไม่ต่อเนื่องโดย $N \gg m$ และ $m \geq 0$ จะได้

$$R(x, y, m) = \frac{\sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} y_n}{(N-m)} \quad (7)$$

เป็นค่าสหสัมพันธ์สำหรับสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องหรือสัญญาณจากการสุ่มตัวอย่างโดยที่ $R \in [0, 1]$ ส่วนปริมาณการใช้น้ำสะสมสามารถหาได้โดยสมการที่ (8) และ (9)



รูปที่ 5 แบบจำลองการวัดและตรวจสอบอัตราการไหล

$$V(n) = V(n-1) + K T u(n-1) \quad (8)$$

และ

$$u(n-1) = \frac{\Delta x(n-1, n-2)}{T} \quad (9)$$

โดย T เป็นช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง $\Delta x/T$ คือ ส่วนเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลต่อหน่วยเวลา K เป็นค่าคงที่ และ $x(n) = \dot{Q}(n)$

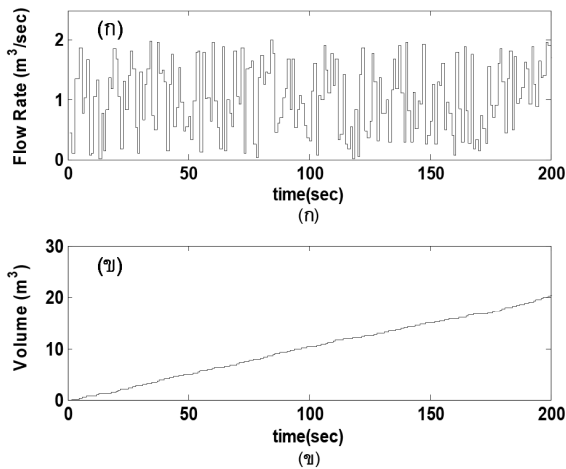
ข้อมูลจากการวัดที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่ อัตราการไหล $x(n)$ และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับปั๊มสูบน้ำที่วัดแทนด้วยค่ากระแสไฟฟ้า $y(n)$ ส่วนหน่วยความจำสำหรับการบันทึกข้อมูลจะถูกออกแบบให้เก็บข้อมูลสำรองภายในบอร์ดสมองกลฝังตัวไว้ได้นานสูงสุด 6 ชั่วโมง โดยอาศัยเครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) ร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง และกำหนดอัตราสุ่มข้อมูลการวัดทุก 10 วินาที

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการจำลองด้วย MATLAB Simulink

ระเบียบวิธีการประมวลผลสัญญาณในหัวข้อ 4.2 และเส้นทางสัญญาณจากการวัดแสดงด้วยแผนภาพการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ในรูปที่ 5 โดยผลการจำลองแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

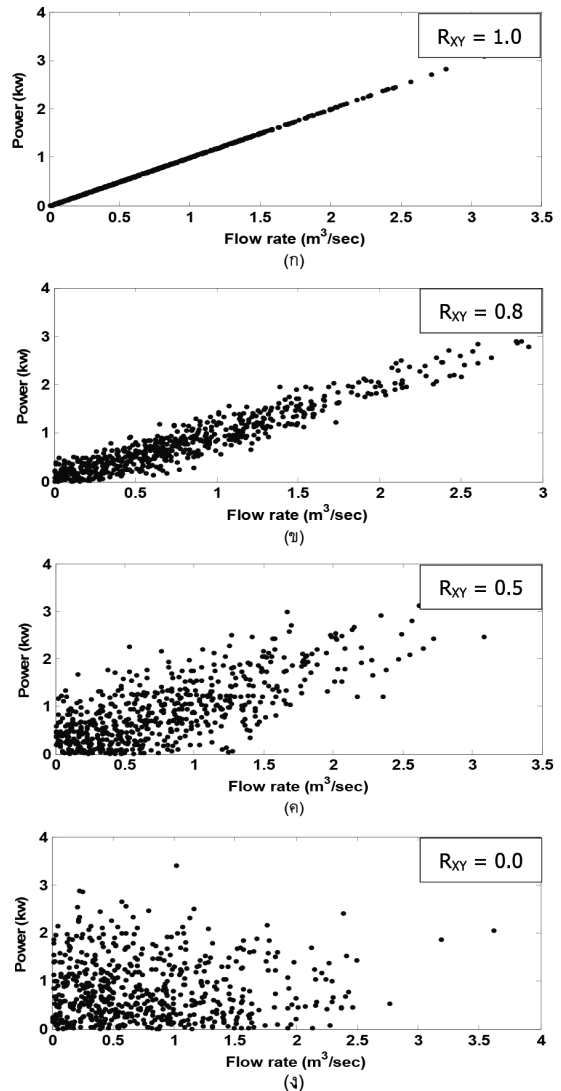
จากรูปที่ 6 (ก) เป็นผลการจำลองสัญญาณการวัดอัตราการไหลผ่านมิเตอร์แบบเชิงปริมาตร โดยมีหน่วยการวัดเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รูปที่ 6 (ข) เป็นปริมาณน้ำสะสม



รูปที่ 6 ผลการจำลองการวัดอัตราการไหล (ก) อัตราการไหลที่ได้จากมิเตอร์ (ข) ปริมาณน้ำสะสมวัดจากอัตราการไหลและระยะเวลาของการไหล

ที่ไหลผ่านมิเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหลและระยะเวลาของการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร ส่วนกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ขับปั๊มสูบน้ำใช้ไปมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ ซึ่งตามปกติจะแปรตามอัตราการไหลและมีสัญญาณการทำงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อนำไปวัดหาค่าสหสัมพันธ์จะได้ค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1.0 ถ้าสัญญาณทั้งสองส่วนนี้ไม่สัมพันธ์กันหรือไม่สอดคล้องกันจะทำให้ได้ค่าสหสัมพันธ์ต่ำกว่า 1.0 ซึ่งสามารถจำลองให้เห็นได้ดังรูปที่ 7 (ก)-(ง)

ผลการจำลองดังกล่าวแสดงการวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการวัดอัตราการไหล กับสัญญาณการวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับปั๊มสูบน้ำที่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน 3 ระดับที่ 1.0, 0.8, 0.5 และ 0.0 ตามลำดับ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อตรวจสอบความผิดปกติการใช้น้ำที่เกิดขึ้น (Fraudulent Detection) [15] เช่น อาจกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจที่ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว R_{xy} ตั้งแต่ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จึงจะพิจารณาได้ว่าเป็นการใช้น้ำที่ถูกต้องไม่มีกรงหรือตัดแปลงข้อมูลการวัดอัตราการไหล และในกรณีที่ดีขึ้นดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ลงมาจะถือว่าอาจมีการโกงปริมาณการใช้น้ำหรือมีการตัดแปลงข้อมูลการวัดอัตราการไหล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการกำหนด



รูปที่ 7 ผลการวัดสหสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร (ก) อัตราการไหลสัมพันธ์กับการใช้ไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ (ข) อัตราการไหลสัมพันธ์กับการใช้ไฟฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ (ค) อัตราการไหลสัมพันธ์กับการใช้ไฟฟ้า 50 เปอร์เซ็นต์ (ง) อัตราการไหลสัมพันธ์กับการใช้ไฟฟ้า 0 เปอร์เซ็นต์

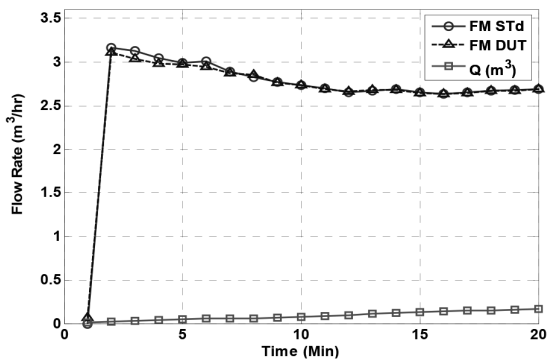
เกณฑ์ดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมของการวัด ซึ่งทำให้มีความผิดพลาดของสัญญาณการวัดจากตัวแปรทั้งด้วย

การผ่อนปรนหรือลดค่าเกณฑ์การตัดสินใจให้เหมาะสมได้ตามต้องการ

5.2 ผลการทดลองจากข้อมูลภาคสนาม

เพื่อให้ไมโครแบบสมองกลฝังตัวที่ได้สร้างขึ้นมีความถูกต้องในกรวัด ชั้นแรกได้ทำการทดสอบเทียบมิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับมิเตอร์มาตรฐาน ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8 โดยเป็นผลการทดสอบที่ระดับอัตราการไหล 0-5 m³/hr จากนั้นนำไปติดตั้งเพื่อทดสอบการใช้งานจริงทั้งหมด 6 แห่งในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ บริษัท ไทยน้ำทิพย์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด จ.ปทุมธานี ศูนย์บริการน้ำ วัดห้วยผักชี อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 จ.นครปฐม วัดบ้านไร่เจริญผล จ.สมุทรสาคร วัดสหธรรมมาราม จ.สมุทรสาคร และที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรุงเทพฯ

โดยข้อมูลการวัดแบบเวลาจริงจากมิเตอร์ทั้งหมดจะถูกส่งผ่านระบบสื่อสารข้อมูลแบบ Wi-Fi 3G/4G ขึ้นไปยังระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลและติดต่อผู้ใช้ผ่านซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่สร้างขึ้นจากชุดพัฒนาภาษา PHP (MySQL) โดยมีหน้าต่างสำหรับติดต่อผู้ใช้แสดงในรูปที่ 9 (ก) ซึ่งจะแสดงข้อมูลค่าที่ตั้งของมิเตอร์ ค่าอัตราการไหลและค่าปริมาตรรวมในรอบ 24 ชั่วโมงรวมทั้งเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังรายสัปดาห์และรายเดือนในรูปแบบไฟล์ข้อมูลชนิด .xls สามารถดาวน์โหลดข้อมูล



รูปที่ 8 การสอบเทียบข้อมูลการวัดกับมิเตอร์อ้างอิง

ทั้งหมดมาตรวจสอบ วิเคราะห์ และวางแผนติดตามการใช้น้ำได้

นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอข้อมูล ในรูปของกราฟเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 9 (ข) สำหรับกรณีที่ต้องการโหลดข้อมูลการใช้น้ำบาดาลสามารถทำได้ด้วยการคลิกที่ Report to Excel พร้อมทั้งมีฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ปั๊มที่จะสัมพันธ์กับการใช้น้ำบาดาลด้วย

ส่วนตัวอย่างการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดจากปริมาณการใช้น้ำที่ไม่สอดคล้องกับการเดินเครื่องมอเตอร์ปั๊มน้ำ เช่น ข้อมูลการวัดแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าที่บันทึกจากการทดสอบการทำงานของ

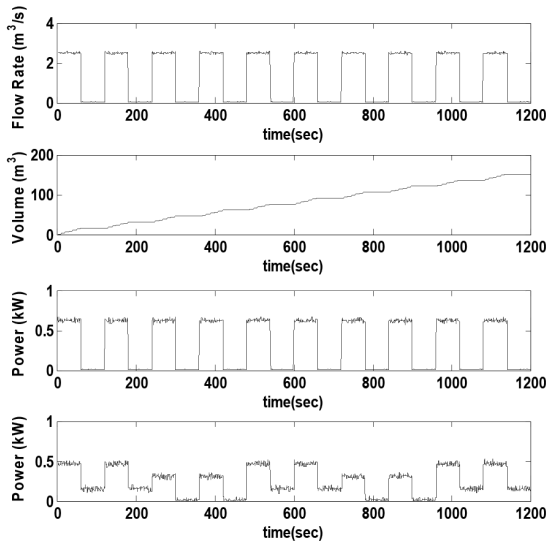


(ก)



(ข)

รูปที่ 9 หน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ของซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงข้อมูลการวัดแบบเวลาจริงจากมิเตอร์น้ำบาดาลสมองกลฝังตัว (ก) พร้อมระบบรายงานผลทั้งข้อมูลตัวเลขและกราฟ (ข)

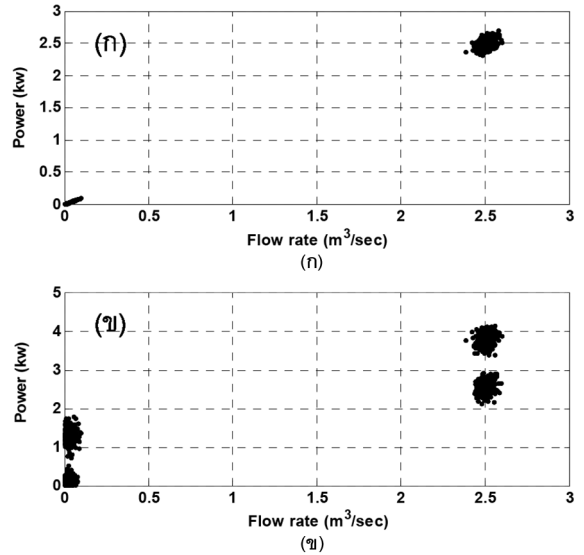


รูปที่ 10 ข้อมูลสัญญาณอัตราการไหลแบบ On-Off

ปั๊มน้ำแบบเปิด-ปิดวงจร (On-Off) ได้แก่ อัตราการไหล ปริมาณน้ำสะสม และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ปั๊มน้ำ โดยแบ่งเป็นสัญญาณปกติและสัญญาณที่ถูกปรับเปลี่ยนให้ผิดเพี้ยนตามลำดับ

ส่วนในรูปที่ 11 เป็นผลจากการนำสัญญาณในรูปที่ 10 มาประมวลผลตามระเบียบวิธีการตรวจสอบความผิดปกติของการใช้น้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำสัมพันธ์และไม่สัมพันธ์กับการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงผลเป็นกราฟแสดงรูปแบบการกระจายตัวของจุดข้อมูลเป็นกลุ่ม (Data Cluster) [11] ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผลการทดสอบจากตัวอย่างข้อมูลรูปที่ 11 (ก) การกระจายตัวของจุดข้อมูลที่ปรากฏ เป็นผลมาจากข้อมูลอัตราการไหลและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าสอดคล้องกันและมีแนวโน้มแบบเดียวกัน จึงทำให้ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์แสดงโดยกราฟแบบ Scattering จุดข้อมูลเกาะกลุ่มกันและแยกออกเป็น 2 กลุ่ม (Bimodal Cluster) เนื่องจากอัตราการไหลและการใช้ไฟฟ้ามีเพียง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยกลุ่มค่าในช่วงเปิดและกลุ่มค่าในช่วงปิดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า (On-Off)

ส่วนผลการทดสอบในรูปที่ 11 (ข) ได้ภาพการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบหลายกลุ่ม (Multimodal Cluster) เนื่องจากข้อมูลอัตราการไหลมี 2 กลุ่มค่าตามช่วงการเปิด



รูปที่ 11 ผลการทดสอบระเบียบวิธีตรวจสอบการใช้น้ำ (ก) อัตราการไหลสอดคล้องกับการใช้ไฟฟ้าปั๊มน้ำ (ข) อัตราการไหลไม่สอดคล้องกับการใช้ไฟฟ้าปั๊มน้ำ

และปิดวงจร แต่กลุ่มข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามีมากกว่า 2 กลุ่ม ในช่วงปิดวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า จึงทำให้ผลการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ที่ได้ มีการกระจายตัวของข้อมูลทั้งหมด แบ่งออกเป็นหลายกลุ่มแยกกันอย่างชัดเจน

6. อภิปรายผลและสรุป

ระบบมิเตอร์น้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัว และซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ ได้ถูกออกแบบให้สามารถทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ กล่าวคือสามารถเชื่อมโยงข้อมูลการวัดแบบเวลาจริงจากผู้น้ำบาดาลจำนวนมากเข้าด้วยกัน โดยข้อมูลการวัดสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความผิดปกติของการใช้น้ำบาดาลได้โดยใช้ระเบียบวิธีการประมวลผลสัญญาณ โดยทั้งผลการจำลองและผลการทดสอบจากข้อมูลจริงได้ให้ผลที่สอดคล้องกัน และจากการนำไปติดตั้งเพื่อทดสอบการใช้งานในสถานประกอบการน้ำบาดาลทั้ง 6 แห่ง พบว่าระบบมิเตอร์น้ำบาดาลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำการบันทึกและติดตามการใช้น้ำบาดาลของแต่ละผู้ประกอบการได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความผิดพลาดจากการวัดเฉลี่ยแล้วน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

บทความวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างระบบมิเตอร์น้ำบาดาลด้วยระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือเป็นระบบที่มีราคาถูกที่สามารถทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ รวมถึงเป็นการพัฒนาองค์ความรู้สู่การพัฒนาที่สูงขึ้น การนำไปติดตั้งที่ต้องใช้เป็นจำนวนมาก รวมถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคตแบบพึ่งตนเองได้ โดยแนวทางการพัฒนาต่อไปแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบมิเตอร์น้ำทั่วไปกับมิเตอร์น้ำอัจฉริยะที่ได้พัฒนาขึ้น และจะได้พัฒนาต่อไป

ความสามารถในการทำงานของมิเตอร์น้ำ		
วัดปริมาณการใช้	ทำได้	ทำได้ (กำหนดช่วงเวลาได้)
การสื่อสาร	ทำได้ (แบบทางเดียว)	ทำได้ (แบบสองทาง)
รองรับโครงข่ายอัจฉริยะ	ไม่สามารถทำได้	ทำได้
ความสามารถในการสื่อสารกับศูนย์ควบคุมแบบไร้สาย/มีสาย	ไม่สามารถทำได้	ทำได้
การตรวจจัดการโงค่าน้ำบาดาล	ไม่สามารถทำได้	ทำได้
บันทึก และแจ้งเตือนไปยังศูนย์ควบคุมได้อย่างอัตโนมัติ	ไม่สามารถทำได้	ทำได้
การระงับการใช้บริการ (อยู่ระหว่างดำเนินการ)	ไม่สามารถทำได้	ทำได้

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเพื่อการเผยแพร่นี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนาการบริหารจัดการการใช้น้ำบาดาล

ด้วยระบบมิเตอร์น้ำอัจฉริยะ โดยได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ประจำปี พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Yatsuka and B.R. Shivakoti, “Groundwater governance regional diagnosis Asia and the Pacific region,” Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Oceania, August 2013.
- [2] O. Lorphensri, “Controlling groundwater abstraction and related environmental degradation in metropolitan Bangkok Thailand,” Asia Pacific Water Forum (APWF), Thailand, 1–3 June 2011.
- [3] U. Weesakul, K. Watanabe, and N. Sukasem, “Application of soft computing techniques for analysis of groundwater table fluctuation in Bangkok area and its vicinity,” *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 53–65, 2010.
- [4] Y. Kataoka and B. R. Shivakoti (2014, March). Groundwater governance: a global framework for action, Groundwater Governance Regional Diagnosis Asia and the Pacific region. [Online]. Available: <http://www.groundwatergovernance.org>
- [5] R. Sood, M. Kaur, and H. Lenka, “Design and development of automatic water flow meter,” *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, vol. 3, no. 3, pp. 49–59, 2013.
- [6] M. Altendorf, *Flow Handbook: A Practical Guide: Measurement Technologies, Applications, Solutions*, Endress Hauser, 2004.



- [7] R. W. Miller, *Flow Measurement Engineering Handbook*, McGraw-Hill, 1996.
- [8] R. C. Baker, *Flow Measurement Handbook, Industrial Designs Operating Principles, Performance, and Applications*, Cambridge University Press, 2000.
- [9] F. Borko and I. Mohammad, *Wireless Internet Handbook: Technologies, Standards, and Applications*. CRC Press, 2003.
- [10] L. Welling and L. Thomson, *PHP and MySQL Web Development*. Pearson Education Inc., 2016.
- [11] H. Mohammad, *Cloud Computing Uncovered: A Research Landscape*. Elsevier Press, 2012.
- [12] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill, 2006.
- [13] G. J. Dolecek, *Random Signals and Processes Primer with MATLAB*. Springer, 2013.
- [14] W. L. Martinez and A.R. Martinez, *Computational Statistics Handbook with MATLAB*, 3rd ed. Chapman & Hall, CRC Press, 2007.
- [15] R. J. Bolton and D. J. Hand, "Statistical fraud detection: A review," *Statistical Science*, vol. 17, no. 3, pp. 235–255, 2002.

