NECTEC Technical Journal

วารสารวิชาการเนคเทค ปีที่ 1 ฉบับที่ 4 เดือน กันยายน–ตุลาคม 2542 Vol. 1, No. 4, September–October 1999 ISSN 1513-2145

Full Paper

115 การเรียงลำดับคำทวิภาษา ไทย-อังกฤษ
เทพพิทักษ์ การุญบุญญานันท์ สัมพันธ์ ระรื่นรมย์ พฤษภ์ บุญมา

132 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบ 3 มิติในระบบจัดการเครือข่ายโดยใช้ VRML 3-D (Web-Based Network Management Interface Using VRML)
แดง ชลไพรพิมลรัตน์ อัครินทร์ คุณกิตติ

Short Paper

145 แนวทางการจัดทำแผนสำรองฉุกเฉินสำหรับปี ค.ศ. 2000
ดร.ชนม์ชนก วีรวรรณ

150 Thai Type Style Recognition
Chularat Tanprasert, Sutat Sae-Tang

155 Thailand's Hard Disk Drive Industry Future Developments in a Regional Context: Summary of Findings of Workshop And The Elements of an Action Plan Bangkok, July 16, 1999
The Brooker Group

Letters

160

การเรียงลำดับคำทวิภาษา ไทย-อังกฤษ

เทพพิทักษ์ การุญบุญญานันท์
สัมพันธ์ ระรื่นรมย์
พฤษภ์ บุญมา

Abstract-- The standard principle for Thai string ordering has been described in the Royal Institute Dictionary 2525 B.E. Edition. However, it is not sufficient to be the thorough specification for computerized Thai string ordering process, given the standard Thai character sets being used, i.e. TIS 620-2533 and ISO/IEC 10646-1. This paper proposes to enhance the Royal Institute Principle, so that the Thai-English bilingual text, with digits and punctuation marks in TIS 620-2533, could be properly collated.

The international standard ISO/IEC 14651 is taken as the framework. And, after the discussion upon the ordering rationales, an LC_COLLATE category for Thai cultural convention, proved to work with GNU LibC 2.1.1, is defined.

บทคัดย่อ-- การเรียงลำดับคำไทยมีหลักที่เป็นมาตรฐานกำหนดไว้แล้วในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๒๕ อย่างไรก็ดี ในการกำหนดหลักการเรียงลำดับที่ครบถ้วนเพื่อใช้กับชุดอักขระคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานจริง คือรหัส มอก. 620-2533 และ ISO/IEC 10646-1 นั้น หลักของราชบัณฑิตยสถานนับว่ายังไม่เพียงพอ บทความนี้จึงเสนอแนวทางหนึ่งในการขยายขอบเขตเพื่อให้สามารถเรียงลำดับข้อความใดๆ ที่ใช้รหัส มอก. 620-2533 ซึ่งประกอบด้วยอักขระสองภาษา คือไทย-อังกฤษ ตัวเลข และเครื่องหมายวรรคตอนได้อย่างถูกต้อง

หลักการที่เสนอในบทความนี้ใช้ร่างมาตรฐาน ISO/IEC 14651 เป็นต้นแบบ และหลังจากการอภิปรายถึงเหตุผลต่างๆ ของการจัดลำดับ ก็จะสร้างเป็นข้อกำหนดในภาค LC_COLLATE สำหรับโลแคลไทย ซึ่งได้ทดสอบกับ GNU LibC 2.1.1 แล้ว

บทนำ

การเรียงลำดับคำภาษาไทยโดยทั่วไปจะยึดตามหลักการเรียงในพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ซึ่งมีหลักการเรียงดังนี้

๑. ตัวพยัญชนะลำดับไว้ตามตัวอักขระ คือ **ก ข ฃ ค ฅ** ฯลฯ จนถึง **อ ฮ** ไม่ได้ลำดับตามเสียง เช่น **ทราบ** จะอยู่ในหมวด **ท** และ **เหมา** อยู่ในหมวด **ห** ส่วน **ฤ ฤๅ** ลำดับไว้หลังตัว **ร** และ **ฦ ฦๅ** ลำดับไว้หลังตัว **ล**

๒. สระไม่ได้ลำดับไว้ตามเสียง แต่ลำดับไว้ตามรูป ดังนี้ **ะ ั า ำ ิ ี ึ ื ุ ู เ แ โ ใ ไ**

๓. การเรียงลำดับคำ จะลำดับพยัญชนะก่อนเป็นสำคัญ แล้วจึงลำดับตามรูปสระ ดังนั้น คำที่ไม่มีสระปรากฏเป็นรูปผสมอยู่ด้วยจึงมาก่อน เช่น **กก** มาก่อน **กะ** หรือ **ขลา** มาก่อน **ขะข่ำ** ส่วนคำที่มีพยัญชนะกับสระปรากฏเป็นรูปผสมกันก็ใช้หลักการข้างต้น เช่น **จริก จริม จรี จรึง จรุก** และโดยปรกติจะไม่ลำดับตามวรรณยุกต์ เช่น **ไต้ก๋ง ไต้ฝุ่น ไตไม้** แต่จะจัดวรรณยุกต์เข้าในลำดับก็ต่อเมื่อคำนั้นเป็นคำที่มีตัวสะกดการันต์เหมือนกัน และไม่มีคำอื่นมาต่อท้าย เช่น **ไต ไต่ ไต้ ไต๋** หรือ **กระตุ่น กระตุ้น** คำที่มี ์ (ไม้ไต่คู้) จะลำดับอยู่ก่อนวรรณยุกต์ เช่น **เก็ง เก่ง เก้ง เก๋ง**

หลักการดังกล่าวถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานในตัวเล่มพจนานุกรม และรหัสอักขระภาษาไทยตามมาตรฐาน มอก. 620-2533 ก็ได้เรียงลำดับให้เหมาะกับการเรียงลำดับคำตามหลักการข้างบน กล่าวคือ สระถูกจัดให้มีน้ำหนักมากกว่าพยัญชนะทุกตัว ทำให้การเรียงลำดับเกือบจะเปรียบเทียบเรียงตัวจากซ้ายไปขวาได้ ยกเว้นอยู่สองกรณีคือ

๑. สระหน้า จากหลักการเรียงลำดับคำที่ให้เรียงลำดับพยัญชนะก่อนเป็นสำคัญ แล้วจึงลำดับตามรูปสระ แต่สระหน้าเป็นอักขระที่เขียนไว้ก่อนพยัญชนะ การเปรียบเทียบจากซ้ายไปขวาธรรมดาจะพบสระหน้าก่อน ทำให้พยัญชนะมีลำดับความสำคัญต่ำกว่า ซึ่งไม่ถูกต้อง อัลกอริทึมเปรียบเทียบคำภาษาไทยจึงต้องสลับลำดับการเปรียบเทียบในกรณีดังกล่าว

๒. ไม้ไต่คู้และวรรณยุกต์ จะต้องไม่ถูกพิจารณาในรอบแรก ต่อเมื่อตัวสะกดการันต์เหมือนกันจึงจะพิจารณาในรอบที่สอง

สองข้อข้างบนเป็นประเด็นหลักของอัลกอริทึมเรียงลำดับคำภาษาไทยทุกอัลกอริทึม และได้มีผู้เสนออัลกอริทึมต่างๆ ขึ้นมามากมาย และสามารถใช้การได้ดีในระดับหนึ่ง

อย่างไรก็ดี หลักการดังกล่าวครอบคลุมเฉพาะกรณีของคำที่มีแต่อักษรไทยล้วนๆ เท่านั้น การกำหนดเป็นข้อกำหนดที่สมบูรณ์จำเป็นต้องครอบคลุมทุกกรณีของข้อมูล ซึ่งหมายความรวมถึง กรณีที่มีตัวเลข เครื่องหมายวรรคตอน หรืออักขระภาษาอังกฤษปนอยู่ด้วย ซึ่งยังไม่ปรากฏมีหลักมาตรฐานใดๆ ที่มีลักษณะครอบคลุมเช่นนี้เลย แม้ว่าจะมีความต้องการใช้งานอยู่มากก็ตาม บทความนี้จึงเสนอข้อกำหนดจำนวนหนึ่งเพิ่มเติมจากหลักของราชบัณฑิตยสถาน เพื่อให้ครอบคลุมอักขระทุกตัวในรหัส มอก. 620-2533 โดยจะพิจารณามาตรฐาน ISO/IEC 14651 International String Ordering ควบคู่กันไป เพื่อจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มภาษาไทยเข้าไปในมาตรฐานดังกล่าวด้วย

รหัส มอก. 620-2533

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 620-2533 รหัสสำหรับอักขระไทยที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ ที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม นั้น เป็นส่วนขยายจากมาตรฐาน ISO 646-1983 Information processing - ISO 7-bit coded character set for information interchange โดยเพิ่มอักขระภาษาไทยเข้าไปในช่วง 80-FF ซึ่งมีบิตบนเป็น 1 อักขระภาษาไทยที่เพิ่มเข้าไปจริงนั้นอยู่ในช่วง A1-DA และ DF-FB ช่องที่เหลือนั้นเปิดไว้สำหรับการขยายขอบเขตเฉพาะงาน การกำหนดรหัสสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ๑

A1-CE	ก ข ฃ ค ฅ ฆ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ฤ ล ฦ ว ศ ษ ส ห ฬ อ ฮ
CF	ฯ
D0-D9	ะ ั า ำ ิ ี ึ ื ุ ู ฺ ฿ เ ๆ ็ ่ ้ ๊ ๋ ์ ๎ ๏ ๐ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙
DA	.
DF	฿
E0-E4	เ แ โ ใ ไ
E5	ๅ
E6	ๆ
E7-EB	็ ่ ้ ๊ ๋

EC	๎
ED	๏
EE	๐
EF	◉
F0-F9	๐ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙
FA-FB	ฯ ◌ฺ

ตารางที่ ๑ การกำหนดรหัสอักขระภาษาไทยใน มอก. 620-2533

มาตรฐาน ISO/IEC 14651 กับภาษาไทย

มาตรฐาน ISO/IEC 14651 เป็นวิธีการเรียงลำดับข้อความซึ่งใช้รหัสอักขระนานาชาติตามมาตรฐาน ISO/IEC 10646 โดยเป้าหมายคือการเรียงลำดับตามพจนานุกรมของภาษาต่างๆ

การให้น้ำหนักแก่อักขระละตินใน ISO/IEC 14651 นั้นจะกำหนดเป็น ๔ ระดับ โดยในการพิจารณาลำดับระหว่างสองสายอักขระจะเปรียบเทียบโดยวิ่งเทียบน้ำหนักของอักขระทั้งข้อความทีละระดับจากระดับ ๑ ไปถึงระดับ ๔ ระดับแรกที่ให้ผลต่างกันจะเป็นตัวชี้ผลลัพธ์ ในแต่ละระดับจะพิจารณาคุณสมบัติต่อไปนี้

ระดับ ๑ ตัวพยัญชนะและสระ โดยไม่คำนึงถึง case หรือ diacritic ตัวอย่างเช่น A, Á, À, Â, Å, Ä, Ã, a, á, à, â, å, ä, ã จะถือว่ามีค่าเท่ากันในระดับนี้ โดยลำดับพยัญชนะสระที่ถอด diacritic และกำจัด case แล้ว จะเรียงจาก A ถึง Z ตามปกติ

ระดับ ๒ diacritic อักขระที่มี diacritic จะถูกกำหนดน้ำหนักในระดับนี้ตามเครื่องหมาย diacritic ดังนี้ acute, grave, double grave, breve, vrachy, breve below, inverted breve, circumflex, caron, ring, dieresis, double acute, hook, lighook, palatal hook, retroflex hook, rhotic hook, tilde, tilde below, middle tilde, dot ฯลฯ

ระดับ ๓ case และขนาด ระดับนี้จะแยกความแตกต่างระหว่างตัวพิมพ์เล็ก/พิมพ์ใหญ่ ตัวพิมพ์ใหญ่ตัวเล็ก ตัวพิมพ์เล็กตัวใหญ่ ตัวยก ตัวห้อย

ระดับ ๔ เครื่องหมายพิเศษ ในทุกระดับที่ผ่านมาจะไม่สนใจเครื่องหมายพิเศษ โดยอ่านข้ามเหมือนไม่มี ซึ่งหากผ่านมาถึงระดับนี้ก็จะพิจารณาเครื่องหมายพิเศษด้วย โดยได้จัดแบ่งประเภทเครื่องหมายไว้ดังนี้

๑. อักขระควบคุม (Control Characters) ได้แก่ null, start of heading, start of text, bell, form feed, line feed, carriage return เป็นต้น

๒. ช่องว่าง (Space) ได้แก่ space, non-breaking space, en-space, em-space เป็นต้น

๓. เครื่องหมายวรรคตอนทั่วไป (General Punctuation) ได้แก่ underscore, hyphen, en-dash, em-dash, comma, semicolon, colon, exclamation mark, question mark, solidus, full stop, ellipsis เป็นต้น

๔. Accent ได้แก่ acute accent, grave accent, breve, circumflex accent, caron, ring above, dieresis, tilde เป็นต้น

๕. เครื่องหมายวรรคตอนที่เป็นคู่ (Paired Punctuation) ได้แก่ apostrophe, quotation mark, parenthesis, square bracket, curly bracket เป็นต้น

๖. เครื่องหมายเกี่ยวกับการพิมพ์ (Typographical Symbol) ได้แก่ section, copyright, telephone, trademark, commercial at, currency, Baht, Cent, Dollar, Dong, Euro-Currency, Franc, Pound, Rupee, Won, Yen, bullet, dagger, caret เป็นต้น

๗.เครื่องหมายในโปรแกรม (Programming Sign) ได้แก่ asterisk, ampersand, number, percent, เครื่องหมายต่างๆ ในภาษา APL เป็นต้น

๘. เครื่องหมายสำหรับแป้นพิมพ์และสำหรับการจัดเอกสาร ได้แก่ place of interest, กากบาทในกรอบสี่เหลี่ยม, คีย์บอร์ด, ซ้ายไปขวา, ขวาไปซ้าย, replacement character เป็นต้น

๙. เครื่องหมายเลขคณิต (Arithmatic Sign) ได้แก่ ลบ, ลบในวงกลม, ลบหรือบวก, บวก, บวกในวงกลม, บวกหรือลบ, คูณ, หาร, dot operator, star operator เป็นต้น

๑๐. เครื่องหมายตรรกะ (Logical Sign) ได้แก่ น้อยกว่า, น้อยกว่าหรือเท่ากับ, น้อยกว่ามาก, ไม่น้อยกว่า, น้อยกว่าหรือมากกว่า, เท่ากับ, สมมูล, เท่ากันทุกประการ, ประมาณ, ไม่เท่ากับ, ไม่สมมูล, มากกว่า, มากกว่าหรือเท่ากับ, มากกว่ามาก, นิเสธ, ขีดตั้ง เป็นต้น

๑๑.เครื่องหมายคณิตศาสตร์ (Mathematical Sign) ได้แก่ there exists, เป็นสมาชิกของ, subset, superset, intersection, union, logical and, logical or, square root, integral, proportional to, for all, complement, empty set, XOR, NAND, NOR เป็นต้น

๑๒.เครื่องหมายหน่วยวัด (Measurement Sign) ได้แก่ degree, prime, สามเหลี่ยมมุมฉาก, มุม, อังสตรอม, องศาเซลเซียส, เคลวิน, infinity, ออนซ์, โอห์ม เป็นต้น

๑๓. เครื่องหมายคล้ายตัวอักษร ได้แก่ ตัวพ่วกันของอักษรต่างๆ, ค่าคงที่ของออยเลอร์, ค่าคงที่ของแพลงค์ เป็นต้น

๑๔. เครื่องหมายสำนักงาน (Office Sign) ได้แก่ บัญชี, โทรศัพท์, ซอง, ดินสอ, victory hand เป็นต้น

๑๕. เครื่องหมายอันตราย (Danger Sign) ได้แก่ กะโหลกไขว้, ระวัง, เขตรังสี เป็นต้น

๑๖. เครื่องหมายวาดกรอบ (Boxes) ได้แก่ เส้นนอน, เส้นตั้ง, มุมต่างๆ, เส้นขอบรูปตัวทีในมุมต่างๆ, เส้นตัด เป็นต้น

๑๗. เครื่องหมายเกี่ยวกับดาวเคราะห์ (Planetary Sign) ได้แก่ เมฆ, ร่ม, ตุ๊กตาหิมะ, สายฟ้า, พายุฝน, ดวงอาทิตย์, สัญลักษณ์ดาวเคราะห์ต่างๆ, สัญลักษณ์ 12 ราศี, ดาวหาง, สี่แยก, ฝั่งตรงข้าม เป็นต้น

๑๘. เครื่องหมายดนตรี (Musical Sign) ได้แก่ ตัวเขบ็ต, ชาร์ป แฟล็ต เป็นต้น

๑๙. เครื่องหมายเกม (Game Sign) ได้แก่ เครื่องหมายหน้าบิ้ง, เครื่องหมายยิ้ม, เครื่องหมายตัวหมากรุก, เครื่องหมายหน้าไพ่ เป็นต้น

๒๐. ลูกศร (Arrow) ได้แก่ ลูกศรรูปแบบต่างๆ ในทิศทางต่างๆ

๒๑. เครื่องหมายวาดกล่อง (Block Elements) ได้แก่ เครื่องหมายแรเงาสำหรับส่วนต่างๆ ของพื้นที่สี่เหลี่ยมใหญ่

๒๒. เครื่องหมายเทคนิค (Technical Sign) ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง, บ้าน, หัวลูกศร, เครื่องหมายปัดเศษ, เส้นโค้ง, เซกเมนต์, เซกเตอร์ เป็นต้น

๒๓. เครื่องหมายเรขาคณิต (Geometric Sign) ได้แก่ กล่องดำ, กล่องขาว, ตาปลา, ข้าวหลามตัด, ตาวัว, Bullet แบบต่างๆ, ส่วนโค้งของวงกลม เป็นต้น

๒๔. ตัวไม่แบ่ง (Non-breaker) ได้แก่ non-breaking hyphen นับเป็นอักขระพิเศษตัวสุดท้าย

การแบ่งเป็นสี่ระดับดังกล่าวยังมีรายละเอียดปลีกย่อยที่ทำให้หลักการเรียงดูแปลกไปจากพจนานุกรมทั่วไป เช่น Webster หรือ Random House หรือในบางกรณีอาจมีปัญหาต่อการประยุกต์ใช้กับภาษาไทย กล่าวคือ

๑. การให้ case มีความสำคัญเหนือเครื่องหมายพิเศษ เป็นสิ่งที่ขัดกับสิ่งที่ปรากฏใน

Webster และ Random House เช่น ตัวอย่างลำดับจาก Random House คือ aa, AA, a.a., A.A., A.Ae.E., A.A.E.E. หากเรียงตาม ISO/IEC 14651 จะเป็น aa, a.a., AA, A.A., A.Ae.E., A.A.E.E. ดังนั้น ระดับที่ ๓ และ ๔ ของ ISO/IEC 14651 ควรสลับกันถ้าจะใช้ลำดับของพจนานุกรมทั้งสอง

๒. ในระดับที่ ๒ (diacritic) ตามพจนานุกรมฝรั่งเศสจะนับผลต่างตัวสุดท้าย ดังตัวอย่างลำดับต่อไปนี้ cote, côte, coté, côté ซึ่งจะเห็นว่า côte มาก่อน coté ก็เพราะการเปรียบเทียบจากขวามาซ้าย (e น้อยกว่า é) ต่างกับหลักเรื่องวรรณยุกต์ของภาษาไทยตามราชบัณฑิตยสถานที่เปรียบเทียบจากซ้ายไปขวาเสมอ

๓. ในระดับที่ ๔ (เครื่องหมายพิเศษ) จะนับข้อความที่ปรากฏเครื่องหมายวรรคตอนก่อนมาก่อน โดยข้อความที่ไม่มีเครื่องหมายวรรคตอนเลยจะมาก่อนที่สุด ซึ่งการนับเช่นนี้ก็คล้ายกับการเปรียบเทียบจากขวามาซ้ายของระดับที่ ๒ นั่นเอง ตัวอย่างของลำดับตาม ISO/IEC 14651 คือ coop, co-op, coop- ในขณะที่ตัวอย่างลำดับจาก Random House หมายความตรงกันข้าม เช่น a, a-, -a

การประยุกต์ใช้กับภาษาไทย

ในภาษาไทยนั้น สามารถแบ่งระดับการเปรียบเทียบได้เป็น ๔ ระดับ เช่นกัน โดยควรสลับระดับ ๓ กับ ระดับ ๔ ตาม Webster และ Random House ด้วย ผลลัพธ์จะได้ดังนี้

ระดับ ๑ พยัญชนะและสระ โดยจะต้องสลับสระหน้ากับอักขระที่ตามมาก่อนเปรียบเทียบด้วย อักขระในระดับที่สูงกว่าจะถูกอ่านข้ามทั้งหมด

ระดับ ๒ ยามักการ พินทุ ไม้ไต่คู้ วรรณยุกต์ ในระดับนี้ พยัญชนะและสระจะถูกถือเสมือนหนึ่งอักขระว่างเปล่าที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด (ไม่ใช่ถูกอ่านข้าม) เพื่อให้อักขระที่ต้องการเปรียบเทียบดังกล่าวได้เปรียบเทียบกันตามตำแหน่งปรากฏจากซ้ายไปขวา ส่วนเครื่องหมายวรรคตอนจะถูกอ่านข้ามทั้งหมด

ระดับ ๓ เครื่องหมายวรรคตอน ในระดับนี้ อักขระที่ไม่ใช่เครื่องหมายวรรคตอนจะถูกถือเสมือนหนึ่งอักขระว่างเปล่าที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด เพื่อให้เครื่องหมายวรรคตอนได้เปรียบเทียบกันตามตำแหน่งปรากฏจากซ้ายไปขวา

ระดับ ๔ น้ำหนักพิเศษ เป็นน้ำหนักพิเศษสำหรับอักขระที่มีความใกล้เคียงกันมาก เช่น สระอา กับ ลากข้างยาว (ดังจะกล่าวต่อไป) ในระดับนี้ เครื่องหมายวรรคตอนจะถูกอ่านข้ามทั้งหมด และอักขระที่ไม่มีความแตกต่างกับอักขระอื่นจะกลายเป็นอักขระว่างเปล่าที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด ระดับนี้เป็นระดับเดียวกับการแยกตัวพิมพ์เล็ก-พิมพ์ใหญ่ในภาษาอังกฤษด้วย

ข้อพิจารณาเรื่องลำดับอักขระไทย

ยังมีอักขระจำนวนหนึ่งที่ไม่ได้รับการบัญญัติกฎการเรียงลำดับไว้ในพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๒๕ จึงขอเสนอแนวทางในการเพิ่มกฎโดยอิงวิธีการที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดยแยกเป็นเรื่องๆ ดังนี้

ไปยาลน้อยและไม้ยมก

ไปยาลน้อย (ฯ) เป็นเครื่องหมายย่อความแทนข้อความที่ตามมาข้างหลัง หน้าที่จึงคล้ายกับ ellipsis (ความจริงแล้ว เครื่องหมายที่เทียบเท่ากับ ellipsis ในภาษาไทยคือไปยาลใหญ่) จึงน่าจะลำดับไว้เป็นเครื่องหมายวรรคตอนในหมวดเดียวกับ ellipsis โดยให้อยู่ท้ายเครื่องหมายย่อความของเทวนาครี <U0970> ในตารางของ ISO/IEC 14651

ไม้ยมก (ๆ) เป็นเครื่องหมายซ้ำข้อความแทนข้อความเดิมซ้ำอีกครั้ง ซึ่งไม่ปรากฏว่ามีหมวดเครื่องหมายวรรคตอนสากลใดมีลักษณะเช่นนี้ จึงเห็นควรให้เพิ่มเข้าไปเป็นหมวดย่อยใหม่ในหมวดเครื่องหมายวรรคตอนทั่วไป ซึ่งก็จะอยู่ถัดจากไปยาลน้อยนั่นเอง

นิคหิต

ตามหลักภาษาไทยดั้งเดิม นิคหิต หรือนฤคหิตหรือหยาดน้ำค้าง (◌ं) เป็นรูปสระรูปหนึ่ง ซึ่งหากประกอบกับพินทุอิ (◌ิ) จะกลายเป็นสระอึ (◌ึ) และกับลากข้าง (า) กลายเป็นสระอำ **(ขำ)**

อย่างไรก็ดี ในเอกสารทั่วไปและในรหัส มอก. ไม่มีการใช้นิคหิตในลักษณะดังกล่าว เพราะสระประกอบดังกล่าวได้ถูกกำหนดรหัสโดยเฉพาะตามแป้นพิมพ์ดีดอยู่แล้ว นิคหิตจึงใช้เขียนคำบาลี-สันสกฤตในฐานะพยัญชนะตัวหนึ่ง (คือตัวอัง) เท่านั้น โดยในบาลีจะแทนเสียงสะกดแม่กง เช่น **พุทฺธ** อ่านว่า “พุด-ทัง” ในภาษาสันสกฤตแทนเสียงสะกดแม่กม ซึ่งไทยรับเอามาใช้เขียนคำไทยด้วย เช่น **ชุ่ นุ่** อ่านว่า “ชุม-นุม” ด้วยเหตุนี้ นิคหิตจึงควรจัดเป็นพยัญชนะตัวหนึ่ง โดยอยู่ต่อท้าย ฮ นกฮูก เหมือนที่บาลี-สันสกฤตนับตัวอังไว้หลังสุด (หลัง พ จุฬา)

เหตุผลสนับสนุนหนึ่งของการจัดนิคหิตไว้หลัง ฮ นกฮูก คือพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๒๕ ซึ่งจัดคำว่า **จุ่พล** ไว้หลัง **จุมพล**

ยามักการ พินทุ ทัณฑฆาต ไม้ไต่คู้ และวรรณยุกต์

ยามักการ (◌์) เป็นเครื่องหมายวรรคตอนโบราณ ใช้สำหรับกำกับอักษรควบ เช่น **พ์รา ห์มณ**

พินทุ (◌ฺ) นั้น มีหน้าที่อยู่สองอย่างคือใช้กำกับอักษรควบเหมือนยามักการ เช่น **พฺราหฺมณ** และอีกหน้าที่หนึ่งคือใช้กำกับตัวสะกดในคำบาลี เช่น **วิชฺชา**

ทัณฑฆาต (◌์) มีหน้าที่อยู่สองอย่างเช่นกัน อย่างหนึ่งคือใช้กำกับตัวสะกดบาลี เช่น **พุท์โธ ภวัน์ตา ภิก์ขโว** และอีกหน้าที่หนึ่งที่ใช้กันทั่วไป คือใช้ฆ่าตัวอักษรที่ไม่ออกเสียง เช่น **การันต์** (ฆ่า **ต**) **พันธุ์** (ฆ่า **ธุ**) **ศาสตร์** (ฆ่า **ตร**) **พระลักษมณ์** (ฆ่า **ษมณ**) **กษัตริย์** (ฆ่า **ริย**) **ปาฏิหาริย์** (ฆ่า **ิย**) **สิริกิติ์** (ฆ่า **ิ**)

เครื่องหมายทั้งสาม อาจถือได้ว่ามีส่วนเปลี่ยนแปลงคำน้อยกว่าไม้ไต่คู้และวรรณยุกต์ เพราะยามักการและพินทุนั้น ถือได้ว่าไม่เปลี่ยนคำเลย เป็นแต่กำกับเสียงอ่านเท่านั้น ส่วนทัณฑฆาตนั้น มีส่วนฆ่าเสียงอ่านก็จริง แต่ก็มิได้ทำให้เกิดคำใหม่ เช่น **พราหมณ** กับ **พราหมณ์** ก็ยังมีความหมายคงเดิม ในขณะที่ไม้ไต่คู้และวรรณยุกต์มีผลให้เกิดคำใหม่ เช่น **บน** เมื่อเติมไม้เอกเป็น **บ่น** จะกลายเป็นคำใหม่ทันที ทำนองเดียวกัน **เขน** และ **เข็น** ก็เป็นคำคนละความหมายเช่นกัน

ด้วยความที่เครื่องหมายทั้งสามเป็นเครื่องหมายกำกับเสียง (diacritic) จึงเห็นควรให้เรียงลำดับไว้ในกลุ่มเดียวกับวรรณยุกต์ แต่มาก่อนไม้ไต่คู้ ส่วนลำดับของเครื่องหมายทั้งสามจะเป็นอย่างไร ก็น่าจะพิจารณาจากหน้าที่ พินทุนั้นอาจอยู่ระหว่างยามักการและทัณฑฆาต เพราะมีหน้าที่คาบเกี่ยวเครื่องหมายทั้งสอง และการฆ่าตัวอักษรของทัณฑฆาตทำให้ทัณฑฆาตน่าจะลำดับไว้หลังยามักการและพินทุ เพราะถือว่ามีผลต่อเสียงอ่านมากกว่า

กล่าวโดยสรุป ลำดับของเครื่องหมายในกลุ่มนี้จึงควรเป็น ยามักการ พินทุ ทัณฑฆาต ไม้ไต่คู้ ไม้เอก ไม้โท ไม้ตรี ไม้จัตวา

อย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นเรื่องทัณฑฆาตที่น่าสงสัยปรากฏอยู่ในตัวเล่มพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๒๕ กล่าวคือ ปรากฏว่าคำว่า **กรรม์** ถูกเรียงไว้ก่อน **กรรม** ในขณะที่ **ครรภ์** ถูกเรียงไว้หลัง **ครรภ** ซึ่งน่าจะเกิดจากความผิดพลาดในการจัดทำ หากพิจารณาตามหลักการเรียงคำโดยทั่วไปแล้ว การที่ **กรรม์** มาก่อน **กรรม** ไม่น่าจะถูกต้อง เพราะ การเพิ่มน้ำหนักของทัณฑฆาตน่าจะทำให้ **กรรม์** หนักกว่า **กรรม**

ลากข้างยาว และสระอา

ลากข้างยาว (ๅ) จะเขียนไว้หลังตัว ฤ หรือ ฦ เสมอ กลายเป็นสัญลักษณ์ใหม่คือ ฤๅ และ ฦๅ ตามลำดับ ในตำราหลักภาษาไทยจะถือว่า ฤๅ และ ฦๅ เป็นสระ (หรือรูปการเขียนแทนเสียง รือ และ ลือ) ซึ่งไม่สามารถแยกออกเป็น ฤ กับลากข้างยาวได้ ดังนั้น โดยทั่วไป ลากข้างยาวจึงไม่เคยถูกเขียนไว้หลังอักขระอื่นใดเลยนอกจาก ฤ กับ ฦ และ ฤ กับ ฦ ก็ไม่เคยตามด้วยสระอื่นใดเช่นกัน ดังนั้น ลากข้างยาว (ๅ) และสระอา (า) จึงไม่เคยปรากฏในตำแหน่งเดียวกันเลย ลำดับระหว่างอักขระทั้งสองจึงไม่สามารถอนุมานเอาจากตัวอย่างในพจนานุกรมได้

ขณะเดียวกัน การที่ ฤ และ ฦ ตามด้วยพยัญชนะเท่านั้นก็จะหมายความว่า การจัดให้ลากข้างยาวเป็นสระจะทำให้ ฤๅ มาหลัง ฤ ในตำแหน่งเดียวกัน และ ฦๅ มาหลัง ฦ ในตำแหน่งเดียวกันเสมอ เช่น ฤษี มาก่อน ฤๅ และก่อน ฤๅทัย ซึ่งสมเหตุสมผลและสอดคล้องกับพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน

อย่างไรก็ดี ความคล้ายคลึงกันระหว่างลากข้างยาวกับสระอาทำให้เกิดการใช้สลับกันบ้างในบางโอกาส (ถือเป็นความผิดที่ไม่ร้ายแรงนัก) จึงเห็นควรให้ถือว่าอักขระทั้งสองเหมือนกันทุกประการ ยกเว้นในกรณีที่ส่วนอื่นของข้อความเหมือนกันทุกประการ ก็ให้ถือว่าสระอามาก่อนลากข้างยาว โดยให้น้ำหนักต่างกันที่ระดับ ๔

อีกแนวทางหนึ่งที่มีผู้เสนอเช่นกัน คือให้ถือเอา ฤๅ และ ฦๅ เป็นหน่วยอักขระโดยตัวของมันเอง คือให้นับ ฤ ฤๅ ฦ ฦๅ เป็นอักขระแยกกัน ๔ ตัวไปเลย นับเป็นวิธีการที่ถูกต้องตามหลักอักขรวิธีที่สุด แต่อาจทำให้อัลกอริทึมซับซ้อนเพราะต้องจับกลุ่ม ฤ หรือ ฦ กับลากข้างยาวก่อนเปรียบเทียบ

ฟองมัน อังคั่นคู่ และโคมูตร

ฟองมันหรือตาไก่ (◉) เป็นเครื่องหมายวรรคตอนโบราณ ใช้สำหรับบ่งชี้จุดเริ่มต้นของย่อหน้า ประโยค หรือบทของโคลงกลอน

อังคั่นเดี่ยวหรือขั้นเดี่ยวหรือขั้น (ฯ) ใช้จบประโยคหรือบทของโคลงกลอน

อังคั่นคู่หรือขั้นคู่ (ฯฯ) ใช้จบข้อความใหญ่หรือตอนของเนื้อเรื่อง

อังคั่นวิสรรชนีย์ (ฯะ) ใช้จบเรื่อง

โคมูตรหรือเยี่ยวโคหรือเยี่ยววัวหรือสูตรนารายณ์ (ᓚᘏᗢ) ใช้จบเรื่องตอนท้ายสุด

เครื่องหมายดังกล่าวถือได้ว่าอยู่ในหมวดอักขระสำหรับจัดเนื้อเรื่อง (typographic symbol) ใน ISO/IEC 14651 อย่างไรก็ดี อังคั่นเดี่ยวนั้น ไม่มีรหัสกำหนดโดยเฉพาะ จำต้องใช้รหัสของไปยาลน้อยแทน ซึ่งจะทำให้อังคั่นเดี่ยวมาก่อนอักขระทุกตัวในกลุ่มนี้ ตามด้วยฟองมัน อังคั่นคู่ และโคมูตรตามลำดับ

เครื่องหมายบาท

ใน ISO/IEC 14651 ได้จัดให้อักขระแทนเงินสกุลต่างๆ อยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยเฉพาะ และเครื่องหมายบาท (฿) ก็ได้อยู่ในกลุ่มนั้นด้วย

ตัวเลข

ใน ISO/IEC 14651 ได้จัดให้ตัวเลขของทุกภาษามีน้ำหนักเท่ากัน กล่าวคือ เลขศูนย์ของทุกภาษาจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเลขหนึ่งของทุกภาษา เลขหนึ่งของทุกภาษาจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเลขสองของทุกภาษา เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยภายในแต่ละค่าของตัวเลข จะมาเรียงลำดับตามภาษาอีกที

ตารางน้ำหนักของอักขระใน มอก. 620-2533

จากข้อเสนอที่กล่าวไปข้างต้น จะสามารถสรุปน้ำหนักของอักขระแต่ละตัวในรหัส มอก. 620-2533 ได้ดังตารางที่ ๒

ระดับ	ลำดับ	อักขระเสมือนช่องว่าง	อักขระที่อ่านข้าม
๑	๑. ตัวเลข (ไม่คิดภาษา) ๒. อักษรอังกฤษ (ไม่คิด case) ๓. พยัญชนะไทย + ฤ + ฦ (เรียงตาม มอก. 620-2533) ๔. นิคหิต ๕. สระไทย (เรียงตาม มอก. 620-2533) + ๅ (=า)	-	เครื่องหมายวรรคตอน ยามักการ พินทุ ทัณฑฆาต ไม้ไต่คู้ วรรณยุกต์
๒	๑. ความเป็นภาษาไทยของตัวเลข ๒. ยามักการ ๓. พินทุ ๔. ทัณฑฆาต ๕. ไม้ไต่คู้ ๖. ไม้เอก ๗. ไม้โท ๘. ไม้ตรี ๙. ไม้จัตวา	เลขอารบิก อักษรอังกฤษ พยัญชนะไทย + ฤ + ฦ นิคหิต สระไทย + ๅ	เครื่องหมายวรรคตอน
๓	๑. space ๒. non-breaking space ๓. low line _ ๔. hyphen - ๕. comma , ๖. semicolon ; ๗. colon : ๘. exclamation ! ๙. question ? ๑๐. solidus / ๑๑. full stop . ๑๒. ไปยาลน้อย ฯ ๑๓. ไม้ยมก ๆ ๑๔. grave ` ๑๕. circumflex ^ ๑๖. tilde ~ ๑๗. apostrophy ' ๑๘. quotation " ๑๙. วงเล็บเปิด (๒๐. วงเล็บเหลี่ยมเปิด [๒๑. วงเล็บปีกกาเปิด {	เลขอารบิก-ไทย อักษรอังกฤษ พยัญชนะไทย + ฤ + ฦ นิคหิต สระไทย + ๅ ยามักการ พินทุ ทัณฑฆาต ไม้ไต่คู้ วรรณยุกต์	-

	๒๒. วงเล็บปีกกาปิด } ๒๓. วงเล็บเหลี่ยมปิด] ๒๔. วงเล็บปิด) ๒๕. at @ ๒๖. บาท ฿ ๒๗. dollar $ ๒๘. ฟองมัน ◉ ๒๙. อังคั่นคู่ ฯ ๓๐. โคมูตร ๐๎ ๓๑. ดอกจัน * ๓๒. back solidus \ ๓๓. ampersand & ๓๔. number # ๓๕. percent % ๓๖. บวก + ๓๗. น้อยกว่า < ๓๘. เท่ากับ = ๓๙. มากกว่า > ๔๐. ขีดตั้ง |		
๔	๑. ความเป็นตัวพิมพ์เล็กของอักษรอังกฤษ ๒. ความเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ของอักษรอังกฤษ ๓. น้ำหนักพิเศษของอักขระไทย (ลากข้างยาว)	เลขอารบิก-ไทย อักษรอังกฤษ พยัญชนะไทย + ฤ + ฦ นิคหิต สระไทย ยามักการ พินทุ ทัณฑฆาต ไม้ไต่คู้ วรรณยุกต์	เครื่องหมายวรรคตอน

ตารางที่ ๒ สรุปน้ำหนักระดับต่างๆ สำหรับอักขระในมาตรฐาน มอก. 620-2533

ข้อกำหนด LC_COLLATE สำหรับภาษาไทย

LC_COLLATE เป็นภาคหนึ่งในข้อกำหนดธรรมเนียมท้องถิ่นตามมาตรฐาน POSIX และ ISO/IEC 14652 ในส่วนที่เกี่ยวกับการเรียงลำดับข้อความ (ความจริงแล้ว มาตรฐาน ISO/IEC 14651 ก็ถือเป็นส่วน LC_COLLATE ตามมาตรฐาน ISO/IEC 14652 สำหรับระบบที่ใช้รหัสอักขระ ISO/IEC 10646-1 นั่นเอง) ในที่นี้จะเสนอการสร้าง LC_COLLATE สำหรับธรรมเนียมท้องถิ่นตามมาตรฐาน POSIX (หรือที่เรียกว่า POSIX locale) โดยอิงระบบที่ใช้รหัส มอก. 620-2533

ดังที่กล่าวไปแล้วว่า การเรียงลำดับคำภาษาไทยนั้นต้องจัดการกับปัญหาสองอย่าง คือ สระหน้าและระดับต่างๆ ของน้ำหนักอักขระ ในหัว

ข้อที่ผ่านมาได้เสนอแนวทางสำหรับน้ำหนักอักขระในระดับต่างๆ ไปแล้ว ก่อนที่จะเขียนเป็นข้อกำหนด LC_COLLATE จึงขอพิจารณาปัญหาของสระหน้าเสียก่อน

การสลับลำดับสระหน้ากับอักขระตัวถัดมาอาจทำได้สองวิธี คือ

๑. วิ่งสลับสระหน้ารอบหนึ่งก่อน แล้วจึงเข้ากระบวนการเปรียบเทียบตามปกติ

๒. ทำไปพร้อมกับการเทียบน้ำหนัก โดยพยายามจับกลุ่มสระหน้ากับอักขระตัวถัดไปแล้วกำหนดน้ำหนักเอา

วิธีที่ ๑ นั้นง่าย แต่เป็นไปได้ยากในระบบ POSIX ปัจจุบัน เพราะไม่มีช่องทางให้ระบุกระบวนการเช่นว่าได้ (ถึงแม้ใน Unicode จะยอมให้ทำได้) จึงต้องใช้วิธีที่ ๒ โดยกำหนดสิ่งที่เรียกว่า collating-element สำหรับทุกคู่ที่เป็นไปได้ของสระหน้ากับพยัญชนะไทย และกำหนดน้ำหนักให้เท่ากับสายอักขระที่สลับลำดับแล้ว

ตัวอย่างเช่น ในส่วนต้น ต้องประกาศ collating-element สำหรับทุกคู่

```
collating-element <kokai-e>              from "<sara-e><kokai>"
collating-element <kokai-ae>             from "<sara-ae><kokai>"
collating-element <kokai-o>              from "<sara-o><kokai>"
collating-element <kokai-ai-maimuan>     from "<sara-ai-maimuan><kokai>"
collating-element <kokai-ai-maimalai>    from "<sara-ai-maimalai><kokai>"

collating-element <khokhai-e>            from "<sara-e><khokhai>"
collating-element <khokhai-ae>           from "<sara-ae><khokhai>"
...
```

และในส่วนของการกำหนดน้ำหนัก

```
<kokai>             <kokai>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<kokai-e>           <kokai><sara-e>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<kokai-ae>          <kokai><sara-ae>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<kokai-o>           <kokai><sara-o>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<kokai-ai-maimuan>  <kokai><sara-ai-maimuan>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<kokai-ai-maimalai> <kokai><sara-ai-maimalai>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>

<khokhai>           <khokhai>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<khokhai-e>         <khokhai><sara-e>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
...
```

ส่วนการกำหนดน้ำหนักของอักขระอื่นๆ นั้น สามารถใช้ตารางที่ ๒ เป็นต้นแบบในการเขียนได้ทันที โดยเรียงลำดับเริ่มจากกลุ่มที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด คือเครื่องหมายวรรคตอนก่อน แล้วจึงมาที่เครื่องหมายกำกับเสียงและวรรณยุกต์ ตัวเลข อักษรอังกฤษ พยัญชนะไทย (รวม ฤ และ ฦ และรวม collating element ต่างๆ ที่กล่าวไปแล้วด้วย) นิคหิต สระไทย ตามลำดับ ข้อกำหนดที่ได้ได้แสดงไว้แล้วในภาคผนวก ก หรือสามารถดาวน์โหลด th_TH POSIX locale ทั้งหมดซึ่งผ่านการทดสอบกับ GNU LibC 2.1.1 แล้วได้ที่

ftp://ftp.nectec.or.th/pub/thailinux/software/All/th-locale/

(ในข้อกำหนดดังกล่าว ใช้ชื่ออักขระในรูป <th*xxx*> มิใช่ชื่อ <kokai>, <khokhai>, ...)

ผลการทดลอง

th_TH locale ที่ได้ สามารถใช้งานได้กับ GNU LibC 2.1.1 ดังนั้น เมื่อคอมไพล์เป็นฐานข้อมูลโลแคลแล้ว โปรแกรมทุกโปรแกรมที่ใช้ GNU LibC 2.1.1 ทั้งหมด (เช่น บน RedHat Linux 6.0 ขึ้นไป) ที่มีการ setlocale() ให้เป็น th_TH และเรียกใช้ strcoll() ในการเรียงลำดับข้อความ หรือ strxfrm() ในการแปลงดัชนีให้อยู่ในรูปที่เปรียบเทียบด้วย strcmp() ได้ ก็จะสามารถเรียงลำดับคำภาษาไทยได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างโปรแกรมดังกล่าวได้แก่ Perl 5.0 ซึ่งทำให้โปรแกรมภาษา Perl สั้นๆ ต่อไปนี้ สามารถเรียงลำดับบรรทัดในไฟล์ข้อความที่ใช้รหัส มอก. 620-2533 ได้:

```
require 5.004;

use POSIX qw(locale_h);
use locale;

print sort <>;
```

ตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ได้คือ :

@@@@@	AAA	McArthur	เกี่ยว
0000	A.A.A.	Mc Arthur	เกี๊ยะ
10 litre	AAAA	Mc Mahon	เกือก
10 litre (10 ลิตร)	A.A.A.L.	vice-president	แกง
10 litre (๑๐ ลิตร)	A.A.A.S.	vice versa	แกะ
10 ลิตร	Aachen	vice-versa	โกน
๑๐ ลิตร	A.A.E.	กก	โกร่น
10 ลิตร (10 litre)	A.Ae.E.	กรรม	ใกล้
๑๐ ลิตร (10 litre)	A.A.E.E.	กรรม์	ไก่
๑๐ ลิตร [10 litre]	AAES	-กระแย่ง	ไกล
๑๐ ลิตร {10 litre}	AAF	กราบ	ขัน
9999	A.Agr	กะเกณฑ์	ขนาบ
A	aah	กัก	ขาง
a	Aalborg	ก้าว	ข่าง
A-	aide	กำ	ข้าง
a-	air	กิน	ข้างๆ
A.	air@@@	กี่	ข้างกระดาน
a.	@@@air	กี๋น	ข้างขึ้น
a'	C.A.F	กุน	ข้างควาย
-a	Canon	กูด	ข้างๆ คูๆ
A-1	COOP	เก้ง	ข้างเงิน
AA	coop	เกล้า	ข้างออก
aa	CO-OP	เกลียว	เข็ด
A.A.	co-op	เก้า	เขน
a.a.	Copenhagen	เกาะ	เข็น

เข่น	เณร	ป้า	วก
แข็ง	ตลาด	ป๊า	ศาล
แข่ง	ทูลเกล้า	ป่า	หริภุญชัย
แข้ง	ทูลเกล้าฯ	ปาน	หฤทัย
แข้งขวา	ทูลเกล้าทูล	ผัด	หลง
แข็งขัน	กระหม่อม	ฯพณฯ	แหง่
แข่งขัน	ธนาคาร	พณิชย์	แห่ง
ครรภ-	น้า	ย่อง	แหนม
ครรภ์	น้ำ	รอง	แหนหวง
จุมพล	นี้	ฤทธิ์	แหบ
จุ๋มพล	บุญหลง	ฤษี	แหม
ฉาก	บุญ-หลง	ฤๅษี	อาน
ชาย	ปา	ลลิตา	ฮา
เฒ่า	ป่า	ฦๅชา	

สรุป

ข้อกำหนดที่เสนอในบทความนี้ แม้จะสร้างขึ้นเพื่อใช้งานเฉพาะหน้าในระหว่างที่มีความต้องการสร้างระบบสนับสนุนการเรียงลำดับภาษาไทย โดยไม่มีมาตรฐานใดๆ ให้อ้างอิงได้เลย แต่ก็ถือเป็นระบบตัวอย่างระบบหนึ่ง ที่ขอเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานอย่างเป็นทางการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ราชบัณฑิตยสถาน. **พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๒๕.** พิมพ์ครั้งที่ ๕. อักษรเจริญทัศน์, ๒๕๓๕.

ราชบัณฑิตยสถาน. **หลักเกณฑ์การใช้เครื่องหมายวรรคตอนและเครื่องหมายอื่นๆ หลักเกณฑ์การเว้นวรรค หลักเกณฑ์การเขียนคำย่อ.** พิมพ์ครั้งที่ ๕. เพื่อนพิมพ์. ธันวาคม ๒๕๓๓.

ทวีศักดิ์ กออนันตกูล. **คอมพิวเตอร์กับภาษาไทย : การพัฒนามาตรฐานเบื้องต้นสำหรับเทคโนโลยีสารสนเทศของไทย.** พิมพ์ครั้งที่ ๑. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. ตุลาคม ๒๕๓๔.

เทพพิทักษ์ การุญบุญญานันท์. “การเรียงลำดับคำไทยที่มีเครื่องหมายวรรคตอน.” **สารเนคเทค.** เล่ม ๑๔ (ม.ค.-ก.พ. ๒๕๔๐). ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. ตุลาคม ๒๕๔๐.

International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission. **ISO/IEC FCD 14651 - International String Ordering - Method for comparing Character Strings and Description of the Common Template Tailorable Ordering.** November 1997.

Stuart Berg Flexner (Edit). **Random House Unabridged Dictionary.** Second Edition. Random House. 1987.

Theppitak Karoonboonyanan, Samphan Raruenrom, Pruet Boonma. **Thai-English Bilingual Sorting.** *http://www.links.nectec.or.th/~thep/blsort.html.*

Theppitak Karoonboonyanan. **Thai Locale.** *http://www.links.nectec.or.th/~thep/th-locale/.*

ภาคผนวก ก ข้อกำหนด LC_COLLATE สำหรับระบบภาษาไทยที่ใช้รหัส มอก. 620-2533

```
escape_char /
comment_char %

%
% Thailand (Thai) locale
%
% Name:        th_TH
% Author:      Theppitak Karoonboonyanan
% Contact:     Software and Language Engineering Laboratory (SLL)
%              National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)
%              National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
%              Ministry of Science Technology and Environment
%               22nd Floor, Gypsum Metropilitan Tower
%               Sri Ayuthaya Rd, Ratchathewee, Bangkok 10400
%               THAILAND.
% E-mail:     thep@links.nectec.or.th
% Language:  Thai
% Territory: Thailand
% Charset:    TIS-620.2533:1990
% Revision:  0.5.3
% Date:       1999-05-28
%

%
% Copyright (C) 1999 Theppitak Karoonboonyanan, National Electronics and
%    Computer Technology Center (NECTEC).
%
% Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
% a copy of this software and associated documentation files (the "Software"),
% to deal in the Software without restriction, including without limitation
% the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense,
% and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the
% Software is furnished to do so, subject to the following conditions:
%
% The above copyright notice and this permission notice shall be included
% in all copies or substantial portions of the Software.
%
% THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
% IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
% FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL
% THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR
% OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE,
% ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR
% OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.
%

LC_COLLATE

collating-element <ko-kai-e>  from "<th224><th161>"
collating-element <ko-kai-ae> from "<th225><th161>"
collating-element <ko-kai-o>  from "<th226><th161>"
collating-element <ko-kai-ai-maimuan>  from "
<th227><th161>"
collating-element <ko-kai-ai-maimalai> from "<th228>
<th161>"

collating-element <kho-khai-e>  from "<th224>
<th162>"
collating-element <kho-khai-ae> from "<th225>
<th162>"
collating-element <kho-khai-o>  from "<th226>
<th162>"
```

```
collating-element <kho-khai-ai-maimuan>  from "
<th227><th162>"
collating-element <kho-khai-ai-maimalai> from "
<th228><th162>"
% ... (similar for kho-khuat to o-ang) ...
collating-element <ho-nokhuk-e> from "<th224>
<th206>"
collating-element <ho-nokhuk-ae> from "<th225>
<th206>"
collating-element <ho-nokhuk-o> from "<th226>
<th206>"
collating-element <ho-nokhuk-ai-maimuan> from "
<th227><th206>"
collating-element <ho-nokhuk-ai-maimalai> from "
<th228><th206>"
collating-symbol  <BLANK>
collating-symbol  <THAII>
collating-symbol  <CAP>
collating-symbol  <MIN>
collating-symbol  <EXTRA>
order_start    forward;forward;forward;forward
% definitions of extra collating symbols
<BLANK>
<THAII>
<CAP>
<MIN>
<EXTRA>

UNDEFINED
IGNORE;IGNORE;IGNORE;IGNORE

% punctuation marks, ordered after ISO/IEC 14651
<space>         IGNORE;IGNORE;<space>;IGNORE
% SPACE
<underscore>
IGNORE;IGNORE;<underscore>;IGNORE      % LOW
LINE
<hyphen>        IGNORE;IGNORE;<hyphen>;IGNORE
% HYPHEN-MINUS
<comma>         IGNORE;IGNORE;
<comma>;IGNORE          % COMMA
<semicolon>
IGNORE;IGNORE;<semicolon>;IGNORE       %
SEMICOLON
<colon>         IGNORE;IGNORE;<colon>;IGNORE
% COLON
<exclamation-mark> IGNORE;IGNORE;<exclamation-
mark>;IGNORE  % EXCLAMATION MARK
<question-mark>     IGNORE;IGNORE;<question-
mark>;IGNORE      % QUESTION MARK
<slash>         IGNORE;IGNORE;<slash>;IGNORE
% SOLIDUS
<period>        IGNORE;IGNORE;<period>;IGNORE
% FULL STOP
<th207>         IGNORE;IGNORE;<th207>;IGNORE
% THAI CHARACTER PAIYANNOI
<th230>         IGNORE;IGNORE;<th230>;IGNORE
% THAI CHARACTER MAIYAMOK
<grave-accent> IGNORE;IGNORE;<grave-
accent>;IGNORE   % GRAVE ACCENT
<circumflex>
IGNORE;IGNORE;<circumflex>;IGNORE      %
CIRCUMFLEX
<tilde>         IGNORE;IGNORE;<tilde>;IGNORE
% TILDE
<apostrophe>         IGNORE;IGNORE;
<apostrophe>;IGNORE     % APOSTROPHE
<quotation-mark>     IGNORE;IGNORE;<quotation-
mark>;IGNORE     % QUOTATION MARK
<left-parenthesis>  IGNORE;IGNORE;<left-
parenthesis>;IGNORE  % LEFT PAREN.
<left-square-bracket> IGNORE;IGNORE;<left-square-
bracket>;IGNORE  % LT BRACKET
<left-brace>         IGNORE;IGNORE;<left-
brace>;IGNORE     % LEFT CURLY BRACKET
<right-brace>        IGNORE;IGNORE;<right-
brace>;IGNORE    % RIGHT CURLY BRACKET
<right-square-bracket> IGNORE;IGNORE;<right-
square-bracket>;IGNORE % RT BRACKET
<right-parenthesis> IGNORE;IGNORE;<right-
parenthesis>;IGNORE % RIGHT PAREN.
<commercial-at>      IGNORE;IGNORE;<commercial-
at>;IGNORE      % COMMERCIAL AT
<th223>              IGNORE;IGNORE;
<th223>;IGNORE  % THAI CHARACTER SYMBOL
BAHT
<dollar-sign>        IGNORE;IGNORE;<dollar-
sign>;IGNORE    % DOLLAR SIGN
<th239>              IGNORE;IGNORE;
<th239>;IGNORE  % THAI CHARACTER FONGMAN
```

```
<th250>              IGNORE;IGNORE;
<th250>;IGNORE  % THAI CHARACTER
ANGKHANKHU
<th251>              IGNORE;IGNORE;
<th251>;IGNORE  % THAI CHARACTER KHOMUT
<asterisk>           IGNORE;IGNORE;
<asterisk>;IGNORE       % ASTERISK
<backslash>          IGNORE;IGNORE;
<backslash>;IGNORE      % BACK SOLIDUS
<ampersand>          IGNORE;IGNORE;
<ampersand>;IGNORE      % AMPERSAND
<number-sign>        IGNORE;IGNORE;<number-
sign>;IGNORE    % NUMBER SIGN
<percent-sign>       IGNORE;IGNORE;<percent-
sign>;IGNORE  % PERCENT
<plus-sign>          IGNORE;IGNORE;<plus-
sign>;IGNORE      % PLUS
<less-than-sign>     IGNORE;IGNORE;<less-than-
sign>;IGNORE      % LESS THAN
<equals-sign>        IGNORE;IGNORE;<equals-
sign>;IGNORE    % EQUAL
<greater-than-sign> IGNORE;IGNORE;<greater-than-
sign>;IGNORE  % GREATER THAN
<vertical-line>      IGNORE;IGNORE;<vertical-
line>;IGNORE % VERTICAL LINE

% Thai tone marks and diacritics
<th238>         IGNORE;<th238>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER YAMAKKAN
<th218>         IGNORE;<th218>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER PINTHU
<th236>         IGNORE;<th236>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER THANTHAKHAT
<th231>         IGNORE;<th231>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER MAITAIKHU
<th232>         IGNORE;<th232>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER MAI EK
<th233>         IGNORE;<th233>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER MAI THO
<th234>         IGNORE;<th234>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER MAI TRI
<th235>         IGNORE;<th235>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI CHARACTER MAI CHATTAWA
% Arabic and Thai decimal digits
<zero>  <zero>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>   %
DIGIT ZERO
<th240> <zero>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>
% THAI DIGIT ZERO
<one>   <one>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>    %
DIGIT ONE
<th241> <one>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>    %
THAI DIGIT ONE
<two>   <two>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>    %
DIGIT TWO
<th242> <two>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>    %
THAI DIGIT TWO
<three> <three>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
DIGIT THREE
<th243> <three>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI DIGIT THREE
<four>  <four>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>   %
DIGIT FOUR
<th244> <four>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>   %
THAI DIGIT FOUR
<five>  <five>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>   %
DIGIT FIVE
<th245> <five>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>   %
THAI DIGIT FIVE
<six>   <six>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>    %
DIGIT SIX
<th246> <six>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>    %
THAI DIGIT SIX
<seven> <seven>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
DIGIT SEVEN
<th247> <seven>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI DIGIT SEVEN
<eight> <eight>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
DIGIT EIGHT
<th248> <eight>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI DIGIT EIGHT
<nine>  <nine>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>   %
DIGIT NINE
<th249> <nine>;<THAII>;<BLANK>;<BLANK>   %
THAI DIGIT NINE
% Latin alphabet
<A> <A>;<BLANK>;<BLANK>;<CAP>  % A
<a> <A>;<BLANK>;<BLANK>;<MIN>  % a
<B> <B>;<BLANK>;<BLANK>;<CAP>  % B
<b> <B>;<BLANK>;<BLANK>;<MIN>  % b
% ... (similar for C to Y) ...
<Z> <Z>;<BLANK>;<BLANK>;<CAP>  % Z
<z> <Z>;<BLANK>;<BLANK>;<MIN>  % z
```

```
% Thai consonants, with leading vowels
rearrangement
<th161>        <th161>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER KO KAI
<ko-kai-e>           <th161><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ko-kai-ae>          <th161><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ko-kai-o>           <th161><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ko-kai-ai-maimuan>  <th161><th227>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ko-kai-ai-maimalai> <th161><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

<th162>        <th162>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER KHO KHAI
<kho-khai-e>         <th162><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<kho-khai-ae>        <th162><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<kho-khai-o>         <th162><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<kho-khai-ai-maimuan>  <th162><th227>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<kho-khai-ai-maimalai> <th162><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

% ... (similar for Kho Khuat to Yo Yak) ...

<th195>        <th195>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER RO RUA
<ro-rua-e>           <th195><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ro-rua-ae>          <th195><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ro-rua-o>           <th195><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ro-rua-ai-maimuan>  <th195><th227>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ro-rua-ai-maimalai> <th195><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

<th196>        <th196>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER RU

<th197>        <th197>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER LO LING
<lo-ling-e>          <th197><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<lo-ling-ae>         <th197><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<lo-ling-o>          <th197><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<lo-ling-ai-maimuan>  <th197><th227>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<lo-ling-ai-maimalai> <th197><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

<th198>        <th198>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER LU

<th199>        <th199>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER WO WAEN
<wo-waen-e>          <th199><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<wo-waen-ae>         <th199><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<wo-waen-o>          <th199><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<wo-waen-ai-maimuan>  <th199><th227>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<wo-waen-ai-maimalai> <th199><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

% ... (similar for So Sala to O Ang) ...

<th206>        <th206>;<BLANK>;<BLANK>;
<BLANK> % THAI CHARACTER HO NOKHUK
<ho-nokhuk-e>        <th206><th224>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ho-nokhuk-ae>       <th206><th225>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ho-nokhuk-o>        <th206><th226>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>
<ho-nokhuk-ai-maimuan>  <th206><th227>;
<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>
<ho-nokhuk-ai-maimalai> <th206><th228>;<BLANK>;
<BLANK>;<BLANK>

<th237> <th237>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER NIKHAHIT
```

```
% order of Thai vowels
<th208> <th208>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA A
<th209> <th209>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER MAI HAN-AKAT
<th210> <th210>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA AA
<th229> <th210>;<BLANK>;<BLANK>;<EXTRA>  %
THAI CHARACTER LAKKHANGYAO
<th211> <th211>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA AM
<th212> <th212>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA I
<th213> <th213>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA II
<th214> <th214>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA UE
<th215> <th215>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA UEE
<th216> <th216>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA U
<th217> <th217>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA UU
<th224> <th224>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA E
<th225> <th225>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA AE
<th226> <th226>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA O
<th227> <th227>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA AI MAIMUAN
<th228> <th228>;<BLANK>;<BLANK>;<BLANK>  %
THAI CHARACTER SARA AI MAIMALAI

order_end

END LC_COLLATE
```

เทพพิทักษ์ การุญบุญญานันท์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2536 ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยนักวิจัยประจำหน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมภาษาและซอฟต์แวร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ เคยเข้าร่วมโครงการพัฒนาซีดีรอมพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525ทำให้เริ่มสนใจอัลกอริทึมสำหรับประมวลผลภาษาไทย และได้เข้าร่วมโครงการ open source บางโครงการ เช่น การพัฒนาโลแคลไทย ระบบพจนานุกรมไทย

พฤษภ์ บุญมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีผลงานการออกแบบ ติดตั้ง และดูแลระบบโครงการเครือข่ายไทยสารภาคเหนือ พัฒนาและทดสอบระบบ Distributed Cache Proxy Server สำหรับเครือข่ายขนาดกลาง รวมทั้งดำเนินโครงการ Thai Linux Porting Project เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง Software ที่ไม่มีลิขสิทธิ์ทางการค้าให้สนับสนุนภาษาไทย

สัมพันธ์ ระรื่นรมย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2534ปัจจุบันเป็นนักพัฒนาอิสระซึ่งร่วมงานในโครงการ open source หลายโครงการมีความสนใจเป็นพิเศษในงานเกี่ยวกับการประมวลผลภาษาไทยเช่นการตัดคำและการพัฒนาให้ซอฟต์แวร์ open source ใช้งานกับภาษาไทยได้อย่างถูกอักขรวิธี

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบ 3 มิติในระบบจัดการเครือข่ายโดยใช้ VRML

3-D Web-Based Network Management Interface Using VRML

แดง ชลไพรพิมลรัตน์ , อัครินทร์ คุณกิตติ
นักศึกษา , อาจารย์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร 10520

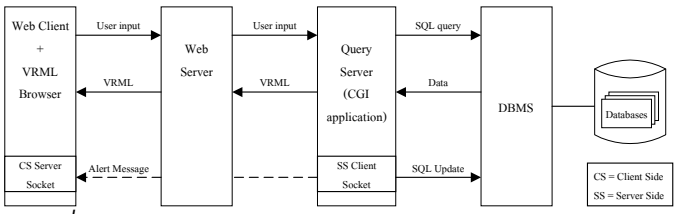
บทคัดย่อ --ในบทความนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาและทดสอบโปรแกรมระบบการติดต่อผู้ใช้ในการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML อันเป็นระบบจัดการเครือข่ายที่ผสมผสานความสามารถทางด้าน CGI กับ VRML เข้าด้วยกัน โดยจะเป็นการนำเสนอการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วยส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เป็น 3 มิติ ซึ่งสามารถที่จะนำเสนอรายละเอียดของข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการจัดการเครือข่าย ในเรื่องของตำแหน่งที่ตั้งจริงทางกายภาพของอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดี รวมถึงสามารถตรวจดูสถานะปัจจุบันของระบบเครือข่ายและสภาพแวดล้อมทางกายภาพได้ ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวถึงที่มาของระบบการติดต่อผู้ใช้ในการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML รายละเอียดของส่วนประกอบของระบบ หลักการทำงานของระบบ รวมถึงรายละเอียดของหลักการสร้างข้อมูลฟิสิกคอลและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ และขั้นตอนในการพัฒนาระบบในส่วนต่างๆ พร้อมทั้งตัวอย่างผลการทดลองเบื้องต้นประกอบการวิจัย

ABSTRACT --This paper presents development and testing of the VRML in Web-Based Network Management application using CGI technology and VRML capabilities for developing tools, which has three-dimension interface. Moreover, it gives right information for network management in the term of locations of devices, network's current status and its physical environment. These will bring about an efficient network management. Parts of the paper mention source of The VRML in Web-Based Network Management, system components, working rules, system developing steps and an example experiment.

1. บทนำ

การจัดการเครือข่ายนับได้ว่าเป็นงานที่สำคัญอย่างยิ่ง ไม่ว่าจะเป็นการควบคุม วางแผนหรือการเฝ้าติดตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับเครือข่าย แต่เนื่องด้วยอินเตอร์เฟซของระบบจัดการเครือข่ายยังคงเป็นลักษณะ 2 มิติ และไม่อิงกับตำแหน่งจริงทางกายภาพ [5],[6] ทำให้ยังไม่สามารถแก้ปัญหาของผู้บริหารเครือข่ายในเรื่องของการหาตำแหน่งที่ตั้งจริงๆ ของอุปกรณ์ ซึ่งปัญหาที่ตามมาก็คือ เมื่ออุปกรณ์เครือข่ายเกิดปัญหาขึ้นและมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าไปทำการแก้ไข ณ จุดที่อุปกรณ์ถูกติดตั้งอยู่ การเข้าไปยังจุดที่เกิดปัญหาเองหรือการแจ้งให้ผู้รับผิดชอบที่อยู่ในพื้นที่เข้าไปทำงาน ณ จุดที่เกิดปัญหาสามารถทำได้ยาก เนื่องจากไม่ทราบตำแหน่งที่ตั้งจริงๆ ของอุปกรณ์ที่เกิดปัญหา ทำให้การแก้ปัญหาทำได้ล่าช้า ส่วนปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะทำให้การจัดการเครือข่ายประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้นก็คือ ระบบจัดการเครือข่ายจะต้องสามารถจัดการเครือข่ายผ่านเว็บได้ ซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาของผู้บริหารเครือข่ายในเรื่องของการเข้าถึงข้อมูลและจัดการเครือข่ายได้จากหลายๆ แห่ง

ในบทความนี้จะนำเสนอผลการพัฒนาและทดสอบโปรแกรมการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML (Virtual Reality Modeling Language) โดยมุ่งเน้นไปในส่วนของการติดต่อผู้ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทำให้ผู้บริหารระบบเครือข่ายสามารถที่จะจัดการและตรวจสอบการทำงานของระบบได้ด้วยอินเตอร์เฟซที่เสมือนจริงและอิงกับตำแหน่งทางกายภาพรวมถึงการระบุ



รูปที่ 1. แสดงส่วนประกอบของระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

และตรวจดูสถานะปัจจุบันของระบบเครือข่าย รวมถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เพิ่มความสะดวกให้กับผู้บริหารเครือข่ายมากขึ้นทำให้สามารถแก้ปัญหาของระบบเครือข่ายได้อย่างทันท่วงที

โดยจะกล่าวถึงการนำ VRML เข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดการเครือข่าย เนื่องด้วยลักษณะการทำงานเป็นการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่ง VRML เป็นภาษาที่ใช้ในการสร้างภาพ 3 มิติได้ดี นอกจากนี้ยังเป็นภาษาที่ง่ายต่อการเข้าใจและการอิมพลีเมนต์อีกด้วย เพียงแค่มีเว็บเบราเซอร์ก็สามารถดูโมเดล 3 มิติผ่านเว็บได้ และที่สำคัญสามารถนำ VRML มาพัฒนาร่วมกับ CGI (Common Gateway Interface) ได้ง่าย ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงหลักการการทำงาน, ผลการทดลองและบทสรุปของระบบการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

2. การจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

2.1 ส่วนประกอบของระบบ

การพัฒนาระบบการติดต่อผู้ใช้ในการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วยVRML ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เว็บไคลเอนต์ทำหน้าที่ในการร้องขอบริการจากเว็บเซอร์ฟเวอร์และนำเสนอข้อมูลที่ได้รับกลับมา โดยในระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML นี้ เว็บไคลเอนต์จะต้องสนับสนุนการเรียกดูข้อมูล VRML นอกจากนี้เว็บไคลเอนต์จะต้องสนับสนุนการทำงานของจาวาแอ็พเพลต (Java Applet) ด้วย เพราะจะต้องมีการโหลดแอ็พเพลตที่ทำหน้าที่เป็น Server Socket ไปไว้ที่เว็บไคลเอนต์ เพื่อทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับ Client Socket ที่อยู่ฝั่งเซอร์ฟเวอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในฐานข้อมูลฝั่งเซอร์ฟเวอร์ ซึ่งในส่วนของกระบวนการแจ้งการเปลี่ยนแปลงข้อมูลบนฝั่งเซอร์ฟเวอร์ไปให้ฝั่งไคลเอนต์ทราบนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดของการทำงานของกระบวนการนี้ในหัวข้อที่ 2.2 ต่อไป แต่กระบวนการทำงานหลักๆ โดยทั่วไประหว่างส่วนประกอบอื่นๆ จะมีลักษณะดังนี้คือ เว็บไคลเอนต์จะส่งการร้องขอด้วยการระบุ URL (Uniform Resource Locator) ไปยังเว็บเซอร์ฟเวอร์ ต่อจากนั้นเว็บเซอร์ฟเวอร์จะทำการเรียกใช้งานแอพพลิเคชันที่อยู่ฝั่งเว็บเซอร์ฟเวอร์ที่เรียกว่า CGI ให้ทำการประมวลผลและส่งผลลัพธ์กลับมาในรูปแบบของ VRML ต่อจากนั้นเว็บเซอร์ฟเวอร์จะทำการส่งข้อมูล VRML ที่ได้ดังกล่าวกลับไปให้เว็บไคลเอนต์ที่ทำการร้องขอมา นั่นคือ ในระบบนี้จะอาศัยหลักการทำงานของ CGI ในการเขียนโปรแกรมสคริปต์ สำหรับใช้ในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น VRML โดยที่ CGI จะติดต่อกับดาต้าเบสเซอร์ฟเวอร์ที่มีหน้าที่จัดเก็บและควบคุมดูแลการเรียกใช้ข้อมูลให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งจะถูกเข้าถึงจากโปรแกรมสคริปต์ (CGI) ที่พัฒนาขึ้นมา

2.2 หลักการทำงานของระบบ

ในบทความนี้มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเวิร์ดไวด์เว็บ โดยผู้ใช้งานจะทำการรีเควสท์การทำงานที่ต้องการผ่านทางเว็บเบราเซอร์ โดยการระบุ URL ไปยังเว็บเซอร์ฟเวอร์ และหลักการทำงานของ VRML [1] จะต้องมี VRML Browser ซึ่งเป็นตัวแปลภาษา เมื่อระบุชื่อ URL ของ VRML เข้าไปยังเว็บเบราเซอร์แล้วพบว่าแฟ้มข้อมูลมี MIME-Type เป็น “model/vrml” ดังนั้นเว็บเบราเซอร์จะเรียกใช้โปรแกรม VRML Browser เพื่อทำการตีความ VRML ไปเป็นภาพแบบกราฟฟิก

ต่อจากนั้นจะเข้าสู่การทำงานของ CGI [2] นั่นคือ เมื่อเว็บเซอร์ฟเวอร์รับรีเควสท์ดังกล่าวไปจะทำการเอ็กซีคิวท์สคริปต์ที่ระบุมาใน URL ซึ่งจะเป็นส่วนของเว็บเซอร์ฟเวอร์แอพพลิเคชัน (CGI) พร้อมทั้งส่งผ่านพารา

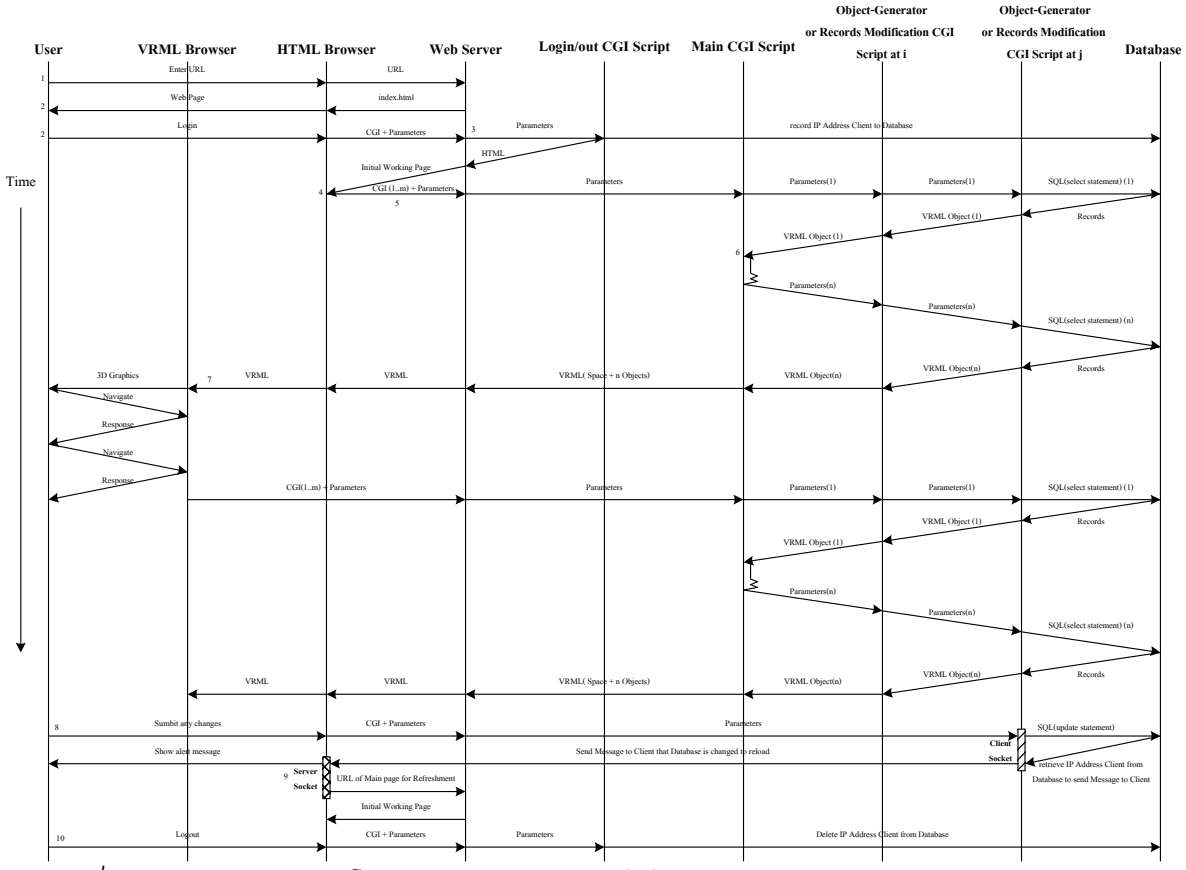
มิเตอร์ต่างๆ ที่ระบุมาในคิวรีด้วย เพื่อนำไปประมวลผล และอาจจะมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลร่วมในการประมวลผลด้วย เมื่อสคริปต์ดังกล่าวถูกเอ็กซีคิวท์จะส่งเรสพ็อนท์กลับไปให้เว็บเซอร์ฟเวอร์ แล้วเว็บเซอร์ฟเวอร์จะส่งเรสพ็อนท์ดังกล่าวกลับไปให้กับเว็บเบราเซอร์ที่ส่งรีเควสท์มา ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งสคริปต์ในระบบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- สคริปต์ที่ให้เรสพ็อนท์ในรูปแบบของ HTML ซึ่งมี MIME Type เป็น text/html
- สคริปต์ที่ให้เรสพ็อนท์ในรูปแบบของ VRML ซึ่งมี MIME Type เป็น model/vrml

แต่หน้าที่หลักอย่างหนึ่งของระบบจัดการเครือข่ายก็คือ การมอนิเตอร์ดูสถานะของอุปกรณ์เครือข่าย ซึ่งระบบจัดการเครือข่ายที่เป็นลักษณะของ Web-Based โดยทั่วไปจะอาศัยการตั้งค่าช่วงเวลาที่จะให้มีการรีเฟชเอาไว้ เพื่อให้เว็บเพจแสดงสถานะล่าสุดของอุปกรณ์ ซึ่งลักษณะการทำงานที่กล่าวมาจะเป็น ลักษณะที่ไคลเอนต์ทำการรีเควสท์ไปที่เซอร์ฟเวอร์ทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนด ไม่ว่าข้อมูลที่เซอร์ฟเวอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม ซึ่งหากนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้กับระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML แล้ว อาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง หากมีการรีเฟชบ่อยๆ เนื่องจากการแสดงผล 3 มิติ ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนมาอาศัยหลักการที่ว่าเซอร์ฟเวอร์จะเป็นฝ่ายส่งแมสเสจไปบอกไคลเอนต์เองเมื่อเวลาที่ข้อมูลฝั่งเซอร์ฟเวอร์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่ไคลเอนต์ไม่ต้องทำการรีเควสท์มาทุกๆ ช่วงเวลา ซึ่งหลักการที่กล่าวมานี้ ด้วยคุณสมบัติของโปรโตคอล HTTP เองไม่สามารถทำได้ [3] เนื่องจากการทำงานของ HTTP จะมีลักษณะที่เป็น request/response ทำให้เซอร์ฟเวอร์ไม่สามารถติดต่อไปยังไคลเอนต์เองได้ ถ้าไม่มีรีเควสท์มาจากไคลเอนต์ จึงได้มีการนำเทคโนโลยีของ JAVA Networking [4] ในเรื่อง Server Socket และ Client Socket เข้ามาช่วยในการทำงาน เพื่อให้สามารถรองรับการทำงานในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นได้

ซึ่งหลักการทำงานของระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML ทั้งหมดมีแผนภาพดังรูปที่ 2 (ตามหมายเลขอ้างอิงของแต่ละขั้นตอน) โดยรายละเอียดขั้นตอนการทำงานมีดังนี้ [7]

1. ผู้ใช้ทำการรีเควสท์โฮมเพจ
2. เว็บเซอร์ฟเวอร์จะเรสพอนท์โฮมเพจดังกล่าว ซึ่งเป็นหน้าจอให้ Login เข้าสู่ระบบ จากนั้นผู้ใช้ที่มีหน้าที่ในการบริหารเครือข่ายใส่ Login name และ Password แล้วทำการคลิก OK ซึ่งจะเป็นการไปเรียก CGI Scripts ที่ทำหน้าที่ในการ Login ทำงาน
3. CGI Scripts ที่ทำหน้าที่ในการ Login ดังกล่าว จะทำการตรวจสอบ Login name และ Password ถ้าถูกต้องจะทำการบันทึก IP Address ของเครื่องไคลเอนต์ที่ทำการ Login ลงในฐานข้อมูลและทำการเรสพอนท์หน้าจอเริ่มการทำงาน โดยจะรวมเอาแอพเพล็ตที่ทำหน้าที่เป็น Server Socket เข้าไว้ด้วยกันกลับไปให้ไคลเอนต์
4. เมื่อไคลเอนต์ได้รับเว็บเพจดังกล่าวอย่างครบถ้วนแล้ว แอพเพล็ต Server Socket ที่รันอยู่ฝั่งไคลเอนต์จะมีหน้าที่รอรับแมสเสจที่จะถูกส่งมาจาก Client Socket ที่รันอยู่ฝั่งเซอร์ฟเวอร์ โดยจะคอยฟังแมสเสจอยู่ตลอดเวลา
5. ต่อจากนั้นผู้ใช้งานจะทำการรีเควสท์การทำงานที่ต้องการผ่านทางเว็บเบราเซอร์ โดยเซอร์ฟเวอร์จะคอยฟังรีเควสท์ที่ส่งมาและทำการเอ็กซีคิวท์สคริปต์ที่ระบุมาใน URL ซึ่งจะเป็นส่วนของเว็บเซอร์ฟเวอร์แอพพลิเคชัน (CGI) พร้อมทั้งส่งผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ระบุมาในคิวรีด้วย เพื่อนำไปประมวลผลและอาจจะมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลร่วมในการประมวลผลด้วย เมื่อสคริปต์ดังกล่าวถูกเอ็กซีคิวท์ก็จะส่งเรสพ็อนท์กลับไปให้เว็บเซอร์ฟเวอร์ ต่อจากนั้นเว็บเซอร์ฟเวอร์จึงส่งเรสพ็อนท์ดังกล่าวกลับไปให้เว็บเบราเซอร์ที่ส่งรีเควสท์มา
6. ในระบบนี้สามารถแบ่งสคริปต์ที่ให้เรสพ็อนท์เป็น VRML ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ
   - สคริปต์หลักที่ใช้ในการสร้าง VRML Space ของแต่ละพื้นที่



รูปที่ 2. แสดงการทำงานของโปรแกรมระบบการติดต่อผู้ใช้ในการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

- สคริปต์ย่อยที่ใช้ในการสร้าง VRML ออปเจ็กต์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ VRML Space นั้นๆ

โดยทั้ง 2 ประเภทจะมีลักษณะการทำงานร่วมกัน คือ เมื่อสคริปต์หลักถูกเรียกใช้ สคริปต์จะทำการประมวลผลโดยการดึงข้อมูลของออปเจ็กต์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่นั้นๆ จากฐานข้อมูลแล้วนำมาประกอบขึ้นเป็น URL เพื่อใช้เรียกสคริปต์ย่อยในการสร้างออปเจ็กต์ต่างๆ

7. หลักการทำงานของ VRML จะต้องมี VRML Browser เพื่อทำหน้าที่ตีความ VRML ไปเป็นภาพแบบกราฟฟิกและจัดการในเรื่องของการโต้ตอบและการแอนิเมชัน
8. เมื่อไคลเอนต์กระทำการใดๆ บนเว็บเพจ อันเป็นการไปกระตุ้นให้ CGI scripts ที่ทำหน้าที่อัพเดตข้อมูลในฐานข้อมูลทำงานแล้ว โมดูลที่เป็น Client Socket ซึ่งฝังติดอยู่ใน CGI scripts นั้น จะขอเปิด connection และส่งแมสเสจไปยังแอพเพล็ตที่เป็น Server Socket ที่รันอยู่ทางฝั่งไคลเอนต์ตาม IP Address ที่อ่านมาได้จากฐานข้อมูลซึ่งมีการบันทึกไว้ในขั้นตอนที่ 3 โดยที่เครื่องไคลเอนต์จะต้องมี Address ที่ได้ลงทะเบียนถูกต้อง (Registered) ซึ่งเครื่องไคลเอนต์อาจจะติดต่อตรงไปหาเว็บเซอร์ฟเวอร์หรือติดต่อผ่านพร็อกซีก็ได้ [3]
9. เมื่อแอพเพล็ตที่เป็น Server Socket ทางฝั่งไคลเอนต์ได้รับแมสเสจแจ้งว่าฐานข้อมูลมีการอัพเดต ผู้ใช้ก็จะทำการสั่งให้เบราเซอร์ที่ active อยู่ทำการรีเฟช
10. และเมื่อผู้ใช้ทำการ Logout ออกจากระบบ ก็จะเป็นการไปเรียก CGI Scripts ที่ทำหน้าที่ในการ Logout ให้ทำงาน ซึ่ง CGI Scripts ดังกล่าวมีหน้าที่ในการตรวจสอบว่าไคลเอนต์เครื่องใดได้มีการ Logout ออกจากระบบและจะทำการลบ IP Address ของเครื่องนั้นออกจากฐานข้อมูลเพื่อลด

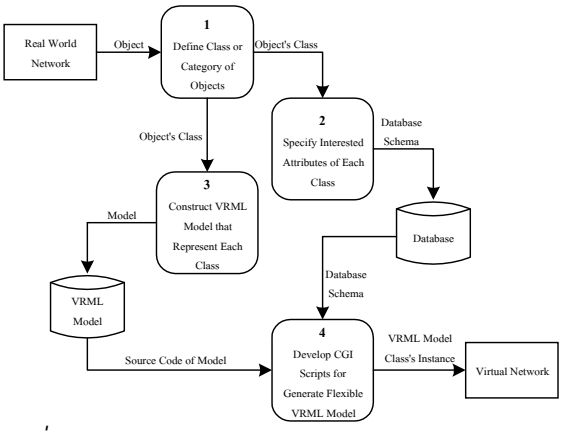
ปริมาณการส่งแมสเสจไปหาไคลเอนต์เมื่อมีการอัพเดตฐานข้อมูล

2.3 หลักการสร้างข้อมูลทางฟิสิกคอลและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ

เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML นี้คือ การอ้างอิงวัตถุกับตำแหน่งที่ตั้งจริงทางกายภาพ ดังนั้นจุดประสงค์ของการแม็พข้อมูลทางฟิสิกคอลและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ ก็คือ การนำเสนอข้อมูลด้านฟิสิกคอลของวัตถุและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในรูปแบบของวัตถุที่เหมือนจริงหรือใกล้เคียงความจริงทั้งด้านรูปร่างลักษณะและตำแหน่งการจัดวางรวมทั้งสถานะต่างๆ ของวัตถุ ซึ่งแปรผันไปตามข้อมูลด้านลอจิคอล เพื่อให้ผู้ที่มีหน้าที่ในการดูแลระบบเครือข่ายสามารถทราบถึงตำแหน่งที่อยู่และสถานะของอุปกรณ์ได้ง่ายและสามารถเข้าไปดำเนินการกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น โดยนำความสามารถของระบบจัดการฐานข้อมูล, VRML และ CGI มาใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนางานในส่วนนี้ โดยกระบวนการในการแม็พ คือ

2.3.1 กระบวนการสร้างข้อมูลทางฟิสิกคอลและและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ

1. จัดคลาสหรือกลุ่มให้กับวัตถุที่จะทำการแม็พ เช่น Building, Room, Hub, Server, Workstation เป็นต้น
2. พิจารณาหาคุณสมบัติทั่วไปที่สนใจของแต่ละคลาส เช่น ชื่อ, ชนิด, ความกว้าง, ความยาว, ความสูง เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบฐานข้อมูล
3. นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้พิจารณามาจัดทำโมเดลของ VRML ที่จะใช้นำเสนอแทนคลาสเหล่านั้น
4. สร้างฐานข้อมูลสำหรับทำการจัดเก็บค่าคุณสมบัติต่างๆ ของคลาสเหล่านั้น โดยจะได้กล่าวถึงการออกแบบฐานข้อมูลในหัวข้อที่ 2.4
5. พัฒนา CGI Script สำหรับสร้างโมเดล VRML ที่ได้จากข้อ 3 ให้สามารถยืดหยุ่นได้ตามคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละคลาส เช่น ในด้านของความกว้าง, ความยาว, ความสูง, ตำแหน่งการจัดวาง เป็นต้น

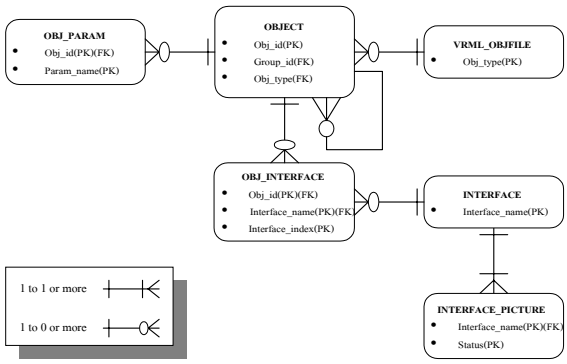


รูปที่ 3. แสดงหลักการสร้างข้อมูลทางฟิสิกคอลและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ

6. เมื่อทำการพัฒนาสคริปต์ต่างๆ เรียบร้อยแล้วจึงทำการทดลองใช้งาน โดยนำสคริปต์ที่พัฒนาขึ้นมาได้เก็บไว้ในเว็บเซอร์ฟเวอร์ แล้วให้ผู้ใช้ทำการรีเควสท์การทำงานที่ต้องการผ่านเว็บเบราเซอร์ ดังรูปที่ 3

2.4 การออกแบบฐานข้อมูล

จากกระบวนการในการสร้างข้อมูลทางฟิสิกคอลและลอจิคอลไปสู่รูปแบบ 3 มิติ ในหัวข้อที่ 2.3.1 จะต้องมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อนำเสนอข้อมูลฟิสิกคอลและลอจิคอลในรูปแบบ 3 มิติที่อิงกับตำแหน่งจริงทางกายภาพ ซึ่งในบทความนี้สามารถแบ่งประเภทของฐานข้อมูลในมุมมองของระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML ออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ฐานข้อมูลลอจิคอล, ฐานข้อมูลฟิสิกคอลและฐานข้อมูลการแม็พระหว่างข้อมูลในฐานข้อมูลลอจิคอลและฟิสิกคอล โดยชนิดของข้อมูลที่เก็บเช่น ชื่อวัตถุ, โปรโตคอลที่เชื่อมต่อภายในเครือข่าย, IP Address, สถานะของอุปกรณ์เครือข่าย, NodeName เป็นต้น และชนิดของข้อมูลที่เก็บในฐานข้อมูลฟิสิกคอล ได้แก่ ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุ เช่น ความกว้าง ความยาว ความสูงของวัตถุ, ตำแหน่งและมุมการวางของวัตถุในแนวแกน X, Y, Z ส่วนชนิดของข้อมูลในฐานข้อมูลการแม็พระหว่างข้อมูลในฐานข้อมูลลอจิคอลและฟิสิกคอล ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลลอจิคอลและฟิสิกคอล, สคริปต์ CGI ที่ใช้ในการสร้างโมเดล 3 มิติ ซึ่งฐานข้อมูลทั้ง 3 ประเภทนี้



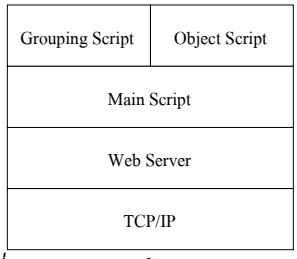
รูปที่ 4. แสดงER-Diagram แสดงโครงสร้างฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ของระบบ

จะถูกนำมาออกแบบให้อยู่ในรูปของฐานข้อมูลเชิงความสัมพันธ์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 4 และคำอธิบายของแต่ละเอ็นติตี้จาก ER-Diagram ดังตารางที่ 1

2.5 สถาปัตยกรรมของระบบ

จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถเขียนสถาปัตยกรรมของระบบการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บในรูปแบบ 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 5

โดยเว็บเบราเซอร์และเว็บเซอร์ฟเวอร์ติดต่อสื่อสารกันผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่ใช้ TCP/IP โดยผู้ใช้งานจะทำการรีเควสท์การทำงานที่ต้องการผ่านทางเว็บเบราเซอร์ โดยการระบุ URL ต่อจากนั้นเว็บเซอร์ฟเวอร์จะรวบรวมข้อมูลที่ร้องขอมาส่งต่อไปยัง CGI script หลัก ซึ่งก็คือ Main Script แล้วทำการประมวลผลข้อมูล โดยที่สคริปต์หลักอาจจะมีการเรียกสคริปต์ย่อยๆ เข้ามาประมวลผลร่วมด้วย สุดท้ายเมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว เว็บเซอร์ฟเวอร์จะส่งผลลัพธ์กลับไปยังเว็บเบราเซอร์ที่ส่งรีเควสท์มา โดยรายละเอียดแต่ละส่วนแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 5. แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ

โดยหน้าที่ของ Grouping Script และ Object Script นอกจากจะสร้าง VRML code ในส่วนที่เป็นวัตถุต่างๆ แล้ว ยังทำการสร้าง VRML code ที่ทำหน้าที่เป็น Viewpoint เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุฝังไว้กับทุกๆ วัตถุอีกด้วยและในส่วนของ Viewpoint นี้ เราสามารถที่จะใส่รายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมให้กับ Viewpoint ได้ด้วย ซึ่งในระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML สิ่งที่ถูกนำไปใส่ไว้เป็นรายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละ Viewpoint ก็คือ ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและสถานที่ตั้งจริงของ Viewpoint หรืออุปกรณ์ที่เราเห็นใน VRML ซึ่งจะมีลักษณะเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) ของตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์ที่เห็นอยู่ดังกล่าว เช่น อาคารสำนักวิจัย->ชั้น3->ห้องปฏิบัติการเครือข่าย->เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น และเมื่อ VRML code เหล่านี้ถูกแปลโดย VRML Browser ชื่อของ Viewpoint ดังกล่าวจะปรากฏอยู่ในส่วนที่เป็นยูสเซอร์อินเตอร์เฟซของ VRML Browser และเมื่อผู้ใช้ทำการเลือกชื่อวัตถุที่ต้องการค้นหาแล้ว VRML Browser ก็จะทำการ Navigate ไปยังตำแหน่งของวัตถุนั้นโดยอัตโนมัติพร้อมทั้งแสดงข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและสถานที่ตั้งจริงของ Viewpoint หรืออุปกรณ์ที่เห็นอยู่นั้นด้วย ซึ่งลักษณะการทำงานนี้ จะทำให้ผู้บริหารเครือข่ายสามารถเห็นตำแหน่งที่ตั้งจริงๆ ของอุปกรณ์พร้อมกับทราบว่าตำแหน่งที่เห็นอยู่นั้นอยู่ ณ ที่ใดในสภาพแวดล้อมจริงของเครือข่าย

3. ผลการทดลองและบทวิเคราะห์ในการใช้ระบบ

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้นำมาพัฒนาระบบการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML ขึ้น ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลการทดสอบการใช้งานระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML โดยสมมุติสถานการณ์ว่า ผู้บริหารเครือข่ายได้รับแจ้งปัญหาเกี่ยวกับเครือข่ายจากผู้ใช้งาน ผู้บริหารเครือข่ายก็จะเข้าไปตรวจสอบดูสถานะของอุปกรณ์ที่สงสัยว่าจะมีปัญหาพร้อมทั้งแจ้งตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ให้เจ้าหน้าที่สนามเข้าไปดำเนินการแก้ไขต่อไป โดยผู้บริหารเครือข่ายจะใช้ระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML นี้

ตารางที่ 1. แสดงคำอธิบายของแต่ละ Entity จาก ER-Diagram

ชื่อ Entity	คำอธิบาย
OBJECT	เก็บรายละเอียดของวัตถุที่เราสนใจ
OBJECT_PARAM	เก็บพารามิเตอร์ เฉพาะของแต่ละออปเจ็กต์
VRML_OBJFILE	เก็บความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัตถุกับชื่อของสคริปต์ที่ใช้สร้างโมเดล VRML ของวัตถุนั้นๆ
OBJ_INTERFACE	เก็บรายละเอียดของวัตถุในส่วนที่เป็น Network Interface กรณีที่วัตถุนั้นเป็นอุปกรณ์เครือข่าย
INTERFACE	เก็บรายละเอียดของ Interface แต่ละชนิด ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูล Lookup สำหรับการทำงานของระบบ
INTERFACE_PICTURE	เก็บรายละเอียดของรูปภาพที่จะใช้นำเสนอแทน Interface แต่ละชนิดในสถานะต่างๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการสร้างโมเดล VRML

ตารางที่ 2. แสดงคำอธิบายรายละเอียดแต่ละส่วนของสถาปัตยกรรมของระบบ

Grouping Script	ทำหน้าที่ในการสร้าง VRML Code ของส่วนที่เป็น Parent Coordinate System ซึ่งใช้สำหรับการจัดวางตำแหน่งต่างๆ ของวัตถุที่เป็น Child Coordinate System ซึ่งได้จาก Object Script ให้อยู่ในกลุ่มของ coordinate ที่สัมพันธ์กัน เช่น อาคาร, ห้องหรือพื้นที่ที่มีการกำหนดขอบเขต เป็นต้น
Object Script	ทำหน้าที่ในการสร้าง VRML Code ในส่วนที่เป็นวัตถุต่างๆ เช่น อุปกรณ์เครือข่าย, โต๊ะ, ชั้นวางอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งบาง Object Script สามารถทำหน้าที่เป็น Grouping Script ได้ด้วย
Main Script	ทำหน้าที่เป็นสคริปต์หลักในการเริ่มต้นการทำงานของระบบ โดยจะเป็นสคริปต์แรกที่ถูกเว็บเซอร์ฟเวอร์เอ็กซีคิวท์ หลังจากนั้น ภายใน Main Script จะมีกลไกและกระบวนการในการเรียกใช้ Grouping Script และ Object Script อีกทีหนึ่ง ซึ่ง Main Script ถือว่าเป็น Root Script ของระบบ
Web Server	ทำหน้าที่รับรีเควสท์จากผู้ใช้ แล้วทำการเอ็กซีคิวท์สคริปต์ตามที่ถูกรีเควสท์และทำหน้าที่ในการส่งผลลัพธ์ที่ได้จากสคริปต์กลับไปยังเว็บเบราเซอร์
TCP/IP	เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเว็บเซอร์ฟเวอร์และเว็บเบราเซอร์

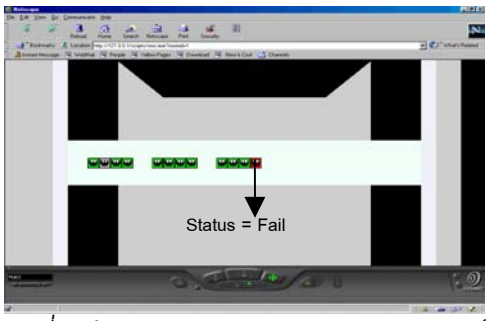
เป็นเครื่องมือในการช่วยปฏิบัติภารกิจดังกล่าว โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- Web Browser = Netscape Navigator 4.5
- Plug-in VRML Browser = Cosmo Player 2.1
- ระบบเว็บเซอร์ฟเวอร์ = IIS (Internet Information Server) 4.0
- ระบบจัดการฐานข้อมูล (DBMS : Database Management System) = Paradox 7.0
- Server = OS WinNT, CPU Pentium 166, Ram 96 MB, HardDisk 2 GB
- Client = OS Win95, CPU Pentium 133, Ram 32 MB, HardDisk 1 GB

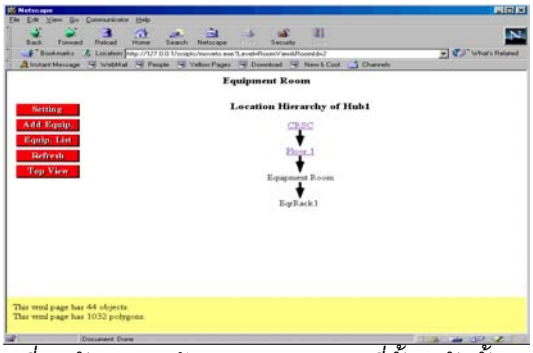
โดยมีรายละเอียดการทำงานเป็นดังนี้

1. ผู้บริหารเครือข่ายเข้าสู่ระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วยเว็บเบราเซอร์ [7]
2. จากนั้นผู้บริหารเครือข่ายทำการคลิกเลือกชื่ออุปกรณ์ที่ต้องการตรวจสอบจาก List Box View point ดังรูปที่ 6
3. เมื่อได้ทำการเลือกอุปกรณ์แล้ว VRML Browser จะ Navigate ไปยังตำแหน่งที่อุปกรณ์ดังกล่าวถูกติดตั้งอยู่ ซึ่งจะปรากฏเห็นสถานะของอุปกรณ์นั้น จากรูปที่ 7 จะพบว่ามีพอร์ทหนึ่ง fail อยู่
4. จากตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ผู้บริหารเครือข่ายได้เห็นใน VRML นั้น ผู้บริหารเครือข่ายก็จะทราบว่าอุปกรณ์ถูกติดตั้งอยู่ตำแหน่งบนสุดของ Rack แต่ยังไม่ทราบว่าตำแหน่งที่เห็นนั้น อยู่ ณ ที่ใดในสภาพแวดล้อมจริง ผู้บริหารเครือข่ายจึงต้องการข้อมูลมากกว่านั้นเพื่อสามารถแจ้งให้เจ้าหน้าที่สนามทราบถึงตำแหน่งดังกล่าวได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยคลิกเลือกที่ตัวอุปกรณ์ โดยจะแสดงเป็นลักษณะของ

รูปที่ 6. ตัวอย่างหน้าจอการคลิกเลือกชื่ออุปกรณ์ที่ต้องการตรวจสอบจาก List box Viewpoint



รูปที่ 7. ตัวอย่างหน้าจอแสดงสถานะของอุปกรณ์



รูปที่ 8. ตัวอย่างหน้าจอแสดงตำแหน่งที่ตั้งลำดับชั้นของอุปกรณ์

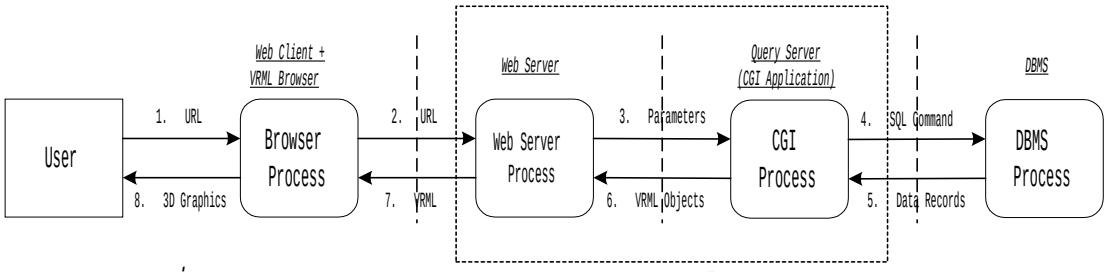
ลำดับชั้นของตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว นั่นคืออุปกรณ์ที่มีพอร์ทหนึ่ง fail อยู่นั้นคืออุปกรณ์ชื่อ Hub 1 ตั้งอยู่ที่ตึก CRSC ชั้น 1 ห้อง Equipment Room บน EqrRack1 ดังรูปที่ 8

5. โดยในแต่ละระดับของข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งจะมีแผนผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ในแต่ละระดับอยู่ด้วย อย่างเช่นถ้าคลิกที่ชื่อห้องหรือชั้นหรืออาคาร ก็จะแสดงสัญลักษณ์ของแผนผังรวมของห้อง, ชั้น, อาคารต่างๆ
6. และจากข้อมูลที่ได้จากแผนผังในทุกระดับ ผู้บริหารเครือข่ายก็สามารถที่จะนำมาหาเส้นทางในการไปยังอุปกรณ์และแผนที่ภาพรวมที่ผู้บริหารเครือข่ายอยู่เพื่อไปยังสถานที่ที่อุปกรณ์เครือข่ายติดตั้งอยู่ได้ ดังนั้นผู้บริหารเครือข่ายสามารถนำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ที่ได้ทั้งหมด ทำการแจ้งให้กับเจ้าหน้าที่สนามเข้าไปทำการแก้ไขปัญหาที่ตัวอุปกรณ์ได้อย่างชัดเจนและรวดเร็วขึ้น

จากผลการทดลองเบื้องต้น จะเห็นว่าผู้บริหารเครือข่ายสามารถใช้ระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML ในการตรวจสอบหาตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ทำให้สามารถสื่อสารกับเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบได้ถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลทำให้การแก้ปัญหาเครือข่ายที่เกิดขึ้นดังกล่าว สามารถทำได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้นไปด้วย แต่เนื่องด้วยการทำงานของระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML จะเป็นการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งส่วนนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบจัดการเครือข่าย จากปัจจัยดังกล่าว ระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML อาจจะมีข้อจำกัดอยู่ที่การใช้งานกับระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ จากรูปที่ 9 (การทำงานหมายเลข 8) หลังจากที่เครื่องไคลเอนต์ได้รับเท็กไฟล์จากเว็บเซอร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว เมื่อผู้ใช้ทำการ navigate ไปในโลก 3 มิติ ประสิทธิภาพในการ navigate นี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องไคลเอนต์ [1] เนื่องจากเมื่อเครื่องไคลเอนต์ได้รับเท็กซ์ไฟล์ VRML มาแล้ว ถัดจากนี้เป็นหน้าที่ของเครื่องไคลเอนต์ในการประมวลผลเพื่อทำหน้าที่ตีความ VRML ไปเป็นภาพแบบกราฟฟิกและจัดการในเรื่องของการโต้ตอบและการแอนิเมชัน

โดยการวิเคราะห์ต่อไปนี้จะดำเนินตามวิธีและขั้นตอนการทำงานของระบบการติดต่อผู้ใช้ในการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML โดยเริ่มที่ผู้ใช้ทำการร้องขอข้อมูลจากเว็บเซอร์ฟเวอร์ดังรูปที่ 9

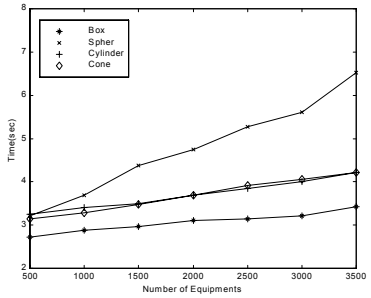
สุดท้ายจึงได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของ Response Time หลังจากเครื่องไคลเอนต์ได้รับเท็กซ์ไฟล์จากเว็บเซอร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว โดยจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่ผู้ใช้ทำการ navigate ไปในโลก 3 มิติ



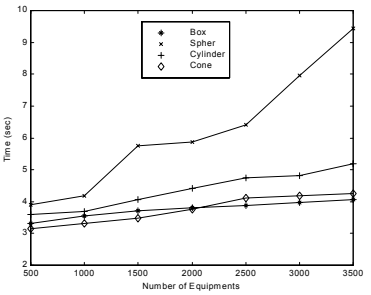
รูปที่ 9. แสดง Diagram Level-0 ของระบบการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งของ Viewpoint หนึ่งไปยังอีก Viewpoint หนึ่ง (Viewpoint คือ การกำหนดตำแหน่งการมองของโลก 3 มิติ) นั่นคือจะทำการศึกษาเวลาที่ผู้ใช้ทำการ Travel ไปใน VRML World หรือเปลี่ยน Viewpoint ซึ่งกิจกรรมที่กล่าวมานี้เกิดจากการประมวลผลที่เครื่องไคลเอนต์เพียงอย่างเดียว และเนื่องจากถ้ามีจำนวนออปเจ็กต์ในเท็กไฟล์ VRML มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการตีความ VRML ไปเป็นภาพแบบกราฟฟิกและการ navigate ก็ต้องใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย โดยปัจจัยที่จะทำการศึกษา คือ ชนิดของ VRML Object ต่างๆ หรือโหนด Geometry [1] ที่มีไว้สำหรับกำหนดรูปทรงของวัตถุ ในภาษา VRML มีโหนดรูปทรงพื้นฐานให้ใช้งานดังนี้ คือ ทรงกลม (Sphere), ทรงกระบอก (Cylinder), ทรงลูกบาศก์ (Box), และทรงกรวยกลม (Cone) ดังผลการทดลองตารางที่ 3 และกราฟรูปที่ 10 จะพบว่าไม่ว่า VRML Object ชนิดใดๆ เมื่อมีจำนวนออปเจ็กต์มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการ navigate จาก viewpoint หนึ่งไปยังอีก viewpoint หนึ่ง ก็ต้องใช้เวลามากขึ้นด้วย

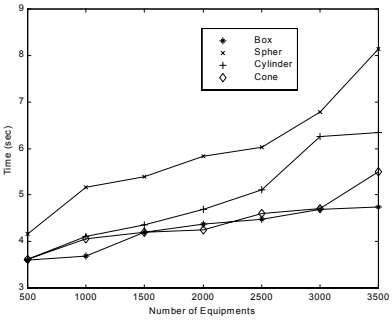
นอกจากรูปร่างของ VRML Object ชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดของ Response Time ในการ navigate แล้ว คุณสมบัติของ VRML Object ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อ Response time ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อหา Response time ในการ navigate โดยการใส่ Shading และ Texture ให้กับ VRML Object ชนิดต่างๆ ดังผลการทดลองตารางที่ 4,5 และกราฟรูปที่ 11,12 จากผลการทดลองจะพบว่าการใส่คุณสมบัติให้กับ VRML Object ไม่ว่าจะเป็นการใส่ shading หรือ texture เพื่อให้ออปเจ็กต์ในโลก 3 มิติ มีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้นนั้น ผลที่ตามมาคือเวลาที่ใช้ในการ navigate จาก viewpoint หนึ่งไปยังอีก viewpoint หนึ่ง ก็ต้องใช้เวลามากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 10. แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองของตารางที่ 3



รูปที่ 11. แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองของตารางที่ 4



รูปที่ 12. แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองของตารางที่ 5

จากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อ Response Time ในการ navigate ไปในโลก 3 มิติของเครื่องไคลเอนต์ ได้แก่ ชนิดของ VRML Object

ตารางที่ 3. แสดง Response Time (Seconds) โดยเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้งในการเปลี่ยน viewpoint จาก (0,0,500) ไปที่ (0,0,0) ของ VRML Object ชนิดต่างๆ

จำนวนออปเจ็กต์	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Box	2.73	2.85	2.95	3.04	3.09	3.25	3.40
Sphere	3.21	3.64	4.30	4.74	5.22	5.56	6.42
Cylinder	3.22	3.41	3.48	3.65	3.82	3.98	4.21
Cone	3.07	3.17	3.47	3.59	3.78	3.96	4.22

หมายเหตุ : ในโลก 3 มิติ ประกอบด้วย Coordinate x y และ z โดยที่ x จะเป็นตำแหน่งจาก ซ้ายไปขวา, y เป็นตำแหน่งจากล่างขึ้นบน และ z เป็นตำแหน่งจากไกลมาใกล้

ตารางที่ 4. แสดง Response Time (Seconds) โดยเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้งในการเปลี่ยน viewpoint จาก (0,0,500) ไปที่ (0,0,0) โดยการการใส่ Shading ให้กับ VRML Object ชนิดต่างๆ

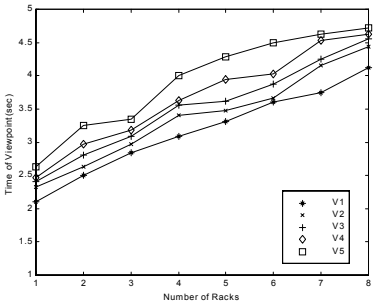
จำนวนออปเจ็กต์	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Box	3.27	3.55	3.72	3.78	3.84	4.00	4.05
Sphere	3.98	4.23	5.70	5.88	6.37	7.92	9.43
Cylinder	3.55	3.69	4.02	4.32	4.73	4.80	5.09
Cone	3.17	3.35	3.46	3.73	3.98	4.18	4.24

ตารางที่ 5. แสดง Response Time (Seconds) โดยเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้งในการเปลี่ยน viewpoint จาก (0,0,500) ไปที่ (0,0,0) โดยการใส่ Texture ให้กับ VRML Object ชนิดต่างๆ

จำนวนอุปกรณ์	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000
Box	3.52	3.71	4.13	4.38	4.50	4.68	4.76
Sphere	4.19	5.02	5.38	5.84	6.04	6.75	8.20
Cylinder	3.59	4.04	4.31	4.67	5.11	6.18	6.37
Cone	3.63	4.02	4.20	4.27	4.59	4.78	5.50

ตารางที่ 6. แสดง Response Time (Seconds) โดยเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้งในการเปลี่ยนตำแหน่ง viewpoint ต่างๆ กับจำนวนอุปกรณ์ที่แตกต่างกันในสภาพแวดล้อมจริงในการจัดการเครือข่าย

จำนวนอุปกรณ์	1 Rack (8 Switch)	2 Rack (16 Switch)	3 Rack (24 Switch)	4 Rack (32 Switch)	5 Rack (40 Switch)	6 Rack (48 Switch)	7 Rack (56 Switch)	8 Rack (64 Switch)
V_1	2.10	2.50	2.84	3.09	3.31	3.60	3.75	4.12
V_2	2.32	2.63	2.97	3.41	3.47	3.66	4.15	4.44
V_3	2.41	2.81	3.09	3.56	3.62	3.87	4.25	4.56
V_4	2.47	2.97	3.18	3.63	3.94	4.03	4.53	4.63
V_5	2.63	3.25	3.35	4.00	4.28	4.50	4.62	4.72



รูปที่ 13. แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองของตารางที่ 6

ต่างๆ และคุณสมบัติที่ใส่ให้กับ VRML Object ได้แก่ การใส่ Texture และ Shading

สุดท้ายจึงได้ทำการทดลองกับสภาพแวดล้อมจริงในระบบจัดการเครือข่าย เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมีผลกับการทำงานของระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML นี้หรือไม่ โดยตัวแปรที่ใช้แทนจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่าย คือ จำนวนออปเจ็กต์ของ VRML นั่นเอง โดยจะทำการทดลองเพื่อหา Response Time ในการใช้งานกับจำนวนอุปกรณ์แตกต่างกัน โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะเพิ่มจำนวนอุปกรณ์เข้าไปทีละ 1 Rack ที่ประกอบขึ้นจาก VRML Object ชนิด Box จำนวน 4 ออปเจ็กต์ โดยทุกๆ 1 Rack ที่เพิ่มเข้าไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์เครือข่าย 8 ชิ้น ซึ่งอุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะเป็น Switch ที่ประกอบขึ้นจาก VRML Object ชนิด Box จำนวน 13 ออปเจ็กต์และ Image รูปพอร์ทจำนวน 12 ออปเจ็กต์ นั่นคือ 1 Rack ประกอบด้วย 204 ออปเจ็กต์ โดยได้จำลองมาจาก Switch ยี่ห้อ 3 Com รุ่น Super Stack II Switch 2000 ดังผลการทดลองตารางที่ 6 และกราฟรูปที่ 13

ให้ V_1 = การเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint จากตำแหน่ง Coordinate(x,y,z) ที่ (0,0,10) เป็น (0,0,0) หน่วยเป็นเมตร

ให้ V_2 = การเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint จากตำแหน่ง Coordinate(x,y,z) ที่ (0,0,50) เป็น (0,0,0)

ให้ V_3 = การเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint จากตำแหน่ง Coordinate(x,y,z) ที่ (0,0,100) เป็น (0,0,0)

ให้ V_4 = การเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint จากตำแหน่ง Coordinate(x,y,z) ที่ (0,0,150) เป็น (0,0,0)

ให้ V_5 = การเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint จากตำแหน่ง Coordinate(x,y,z) ที่ (0,0,200) เป็น (0,0,0)

จากตารางที่ 6 และกราฟรูปที่ 13 แสดงผลการทดลองที่ได้ จะพบว่า ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ ตัวแปรที่มีผลกระทบที่ชัดเจนที่สุดต่อขนาดของเวลาที่เครื่องไคลเอนต์ของผู้ใช้ใช้ในการประมวลผลในการเปลี่ยนตำแหน่ง Viewpoint คือ จำนวนออปเจ็กต์ ดังนั้นในสภาวะที่มีจำนวนออปเจ็กต์จำนวนมาก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากขึ้นด้วย ซึ่งก็คือจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่าย นั่นหมายถึงขนาดของเครือข่ายมีผลกับการใช้งานระบบจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

ดังนั้น เมื่อผู้ใช้ทำการ Travel ไปใน VRML World หรือเปลี่ยน Viewpoint กิจกรรมที่กล่าวมานี้เกิดจากการประมวลผลที่เครื่องไคลเอนต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องไคลเอนต์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมดังกล่าว จากปัจจัยนี้ ในบางครั้งอาจจำเป็นที่จะต้องมีการ Optimize การนำเสนอ VRML ให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง เช่น การเลือกใช้ชนิดของ VRML Object ที่มีการประมวลผลน้อย, การลดคุณสมบัติความเหมือนจริงของ VRML Object, การลดความซับซ้อน, รายละเอียดและขนาดของออปเจ็กต์ต่างๆ ลง [1]

4. บทสรุป

การจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML ทำให้สามารถเข้าไปจัดการ, ตรวจสอบและดูแลระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านทางอินเตอร์เน็ตโดยใช้เว็บเบราเซอร์ในรูปแบบที่เสมือนจริงและอิงกับลักษณะทางกายภาพและจะเป็นตัวต้นแบบที่จะสามารถถูกนำไปพัฒนาให้มีความสามารถและความสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับการจัดการระบบเครือข่ายที่มีความซับซ้อนมากขึ้นต่อไปได้

แต่เนื่องจากข้อมูลที่จัดเก็บที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ยังมีความซับซ้อนและรายละเอียดไม่มาก

นัก ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวได้มากกว่านี้ โดยสามารถที่จะเพิ่มระดับความสัมพันธ์ของวัตถุต่างๆ ได้มากเท่าที่ต้องการ เพื่อให้เห็นภาพที่ละเอียดและมีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ยิ่งข้อมูลที่จัดเก็บมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมากเท่าไร เวลาที่จะถูกใช้ในการประมวลผลและการแสดงผลของระบบก็ยิ่งจะต้องมากขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีอีกหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML อย่างเช่น

- ความเหมือนจริงในการนำเสนอออปเจ็กต์ต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับโปรแกรมว่าสามารถกำหนดเงื่อนไขในการนำเสนอได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้นถ้ามีการเก็บข้อมูลทางฟิสิกคอลและลอจิกคอลลงในฐานข้อมูลละเอียดมากเท่าไร ความเหมือนจริงก็จะมีมากขึ้นแต่เวลาที่ใช้ในการนำเสนอก็จะช้าลงไปด้วย
- ความเร็วและความต่อเนื่องในการท่องไปในแต่ละฉาก จะพบว่า การที่มีวัตถุมากเกินไปหรือมีวัตถุที่มีความซับซ้อนมากๆ จะทำให้ความเร็วในการท่องลดลง แต่เมื่อทำการลดจำนวนวัตถุที่ไม่จำเป็นออกหรือดัดแปลงวัตถุให้มีความซับซ้อนน้อยลงจะเป็นการแก้ไขให้ดีขึ้นได้
- เวลาในการโหลดข้อมูลจากเว็บเซอร์ฟเวอร์มายังเว็บเบราเซอร์จะประหยัดเวลาเนื่องจากเป็นการโหลดข้อมูล VRML ที่เป็นเท็กไฟล์ แต่จะมารับภาระหนักที่เครื่องไคลเอนต์ที่จะต้องแปลข้อความนั้นให้อยู่ในรูป 3 มิติ จึงต้องทำงานบนเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงๆ
- เวลาที่ใช้ในการนำเสนอออปเจ็กต์ต่างๆ ในรูปแบบ 3 มิตินั้น ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่ใช้ในการแม็พข้อมูลฟิสิกคอลและข้อมูลลอจิกคอลไปเป็นการนำเสนอแบบกราฟฟิก 3 มิติ ด้วยว่าใช้อัตราส่วนเท่าไร ยิ่งใช้อัตราส่วนในการนำเสนอมากเท่าไร เวลาที่ใช้ในการแสดงรูป 3 มิติก็จะมากขึ้นตามไปด้วย
- เมื่อประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์และการประมวลผลทางกราฟฟิก 3 มิติ มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำให้สามารถเพิ่มเติมองค์ประกอบต่างๆ เข้าไปในระบบได้อย่างเต็มที่และยังทำให้มีความเสมือนจริงมากขึ้น

สิ่งที่จะทำการศึกษาต่อไปนั้น จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึง Response Time ในส่วนต่างๆ จากการทำงานในรูปที่ 9 ว่าการทำงานส่วนใดที่มีผลต่อการจัดการเครือข่ายมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นเวลาที่ไคลเอนต์ติดต่อกับเว็บเซอร์ฟเวอร์, เว็บเซอร์ฟเวอร์ติดต่อกับ CGI Script หรือ CGI Script ติดต่อกับฐานข้อมูล เพื่อหาว่าเครือข่ายขนาดใดที่เหมาะสมต่อการจัดการเครือข่ายผ่านเว็บด้วย VRML

เอกสารอ้างอิง

[1] Andrea L. Ames, David R. Nadeau and John L. Moreland, *VRML 2.0 Sourcebook*, Second Edition. New York : John Wiley & Sons,Inc. 1997.

[2] Jeffry Dwight and Michael Erwin, *Special Edition Using CGI*, Indianapolis : Que Corporation. 1996.

[3] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk and T. Berners-Lee, *Network Working Group Request for Comments 2068*, [Online]. Available : http://www.w3.org/Protocols/rfc2068/rfc2068. 1997.

[4] Gary Cornell and Cay S. Horstmann, *Core Java*, Second Edition. California : SunSoft Press, A Prentice Hall Tittle. 1997.

[5] Hewlett Packard, *HP OpenView*, [Online], Available : http://www.openview.hp.com. 1999.

[6] Sun Microsystems, *Solstice SunNet Manager*, [Online]. Available : http://www.sun.com/software/solstice/em-products/network/sunnetmgr.html. 1999.

[7] Dang Cholpripimonrat, *3-D Web-Based Network Management Interface Using VRML*, [Online]. Available : http://161.246.38.18/dang/wwwroot/vnms/default.htm. 1999.

แดง ชลไพรพิมลรัตน์ ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จบการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย พ.ศ. 2539

อัครินทร์ คุณกิตติ จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า คอมพิวเตอร์) และวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (อิเล็กทรอนิกส์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และผู้ช่วยผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังเป็นนักวิจัยสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำงานวิจัยด้านระบบเครือข่ายการสื่อสารคอมพิวเตอร์ การประมวลผลแบบกระจาย และการจัดการระบบเครือข่ายและคอมพิวเตอร์

แนวทางการจัดทำแผนสำรองฉุกเฉินสำหรับปี ค.ศ. 2000

ดร.ชนม์ชนก วีรวรรณ
รักษาการหัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมภาษาและซอฟ์แวร์
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
Email: chonchanok@nectec.or.th

Abstract-- The consequence of Y2K can led to failures in electronic appliances, interruption in supply-chain, lost of income, power outages, telecommunication interruption, and panics among the people, etc. Several countries are lagging behind in their effort to solve the problems. With less that 100 days left, the chances are they won't make it. Contingency planning becomes the way out. Preparation for contingency plan boils down to answering 4 simple questions. First, what kind of situations (scenarios) should we prepare for? Secondly, how can we reduce the chance that such situation would happen? Third, how shall we deal with the situation if it occurs? Fourth, how can we recover from the disaster? This paper layout approach and steps used for preparing a contingency plan.

Keyword-- Y2K problem, Contingency plan

บทคัดย่อ-- ปัญหา Y2K สามารถส่งผลกระทบได้อย่างรุนแรง อาทิเช่น ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ล่ม เกิดการติดขัดในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม การสูญเสียเรื่องการเงิน ไฟฟ้าดับ การติดขัดในการติดต่อสื่อสาร และความตื่นตระหนกของคนทั่วไป ฯลฯ เกือบทุกประเทศทั่วโลก มีความล่าช้าในการแก้ปัญหานี้ ขณะที่มีเวลาให้แก้ปัญหาเหลือน้อยกว่า 100 วันนี้ ถ้าพึ่งจะเริ่มแก้ปัญหา คาดได้ว่าจะแก้ไม่ทันแน่นอน ทางรอดที่ยังคงเหลืออยู่คือการจัดทำแผนฉุกเฉิน การจัดทำแผนฉุกเฉินที่จริงแล้ว เป็นการตอบคำถาม 4 คำถามหลัก ได้แก่ มีสถานการณ์อะไรบ้างที่เราต้องระวัง? เราจะลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาเหล่านั้นได้อย่างไร? เราจะรับสถานการณ์อย่างไร ถ้าปัญหาเกิดขึ้น? และเราจะกู้สถานการณ์กลับสู่ภาวะปกติได้อย่างไร? บทความนี้จึงนำเสนอแนวทางในการจัดทำแผนสำรองฉุกเฉินเพื่อพร้อมรับสถานการณ์ปัญหาคอมพิวเตอร์ปี ค.ศ.2000

คำสำคัญ—ปัญหาคอมพิวเตอร์ปี ค.ศ.2000, แผนสำรองฉุกเฉิน

นายคริส เฟย์ ประธานของบริษัทน้ำมันเชลล์ ของประเทศอังกฤษ กล่าวไว้ว่า *"ไม่มีบริษัทใดอยู่ได้อย่างโดดเดี่ยว เราต้องพึ่งพากันในฐานะลูกค้า ผู้ผลิต และผู้ร่วมลงทุน โครงการแก้ปัญหา (ค.ศ. 2000) นี้ เป็นโครงการร่วมกัน เราจะเลยกำหนดเวลาไม่ได้ เราต้องจับมือกันแก้ปัญหาเร่งด่วนนี้ เพื่อลดผลกระทบของปัญหาในปี ค.ศ. 2000 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้"*

ดังนั้นถึงคนเราไม่ได้มีคอมพิวเตอร์ที่ไปทำให้คนอื่นๆ เดือดร้อน แต่องค์กรอื่นๆ ที่เราต้องพึ่ง อาจใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีปัญหา และส่งผลให้ภารกิจหลักๆ ของเรามีปัญหาได้ ถึงเราไม่มีคอมพิวเตอร์หรือคิดว่าแก้ปัญหา Y2K ของเราเสร็จแล้ว การมีแผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินยังเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อป้องกันตนเองและป้องกันผลกระทบแบบลูกโซ่ที่ทำให้ประเทศชาติเข้าภาวะฉุกเฉินได้

"**แผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินปี ค.ศ. 2000**" เป็นแผนซึ่งรวบรวมกลยุทธเพื่อพร้อมรับปัญหา Y2K แต่ไม่จำกัดอยู่ที่ปัญหา Y2K สถานการณ์ฉุกเฉินอาจเป็นผลกระทบอันเป็นลูกโซ่ ซึ่งอาจจะมีต้นตอจากปัญหา Y2K ก็ได้ หรือจากปัญหาพายุสุริยะที่คาดว่าจะเกิดในปี ค.ศ. 2000 (ที่เคยทำให้ไฟฟ้าของเมืองคิวเบกในประเทศแคนาดาดับไปแล้ว และมีความเสี่ยงว่าจะสามารถทำลายข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างๆ ได้) หรือจากไวรัสในคอมพิวเตอร์ หรือ จากเรื่องอะไรก็ตามที่เราเดือดร้อนได้

แผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินปี ค.ศ. 2000 นี้ เรียกรวมว่าแผนสามแบบ คือ แผนฉุกเฉิน (Contingency Plan) แผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่อง (Business Continuity Plan) แผนฟื้นตัวจากภัยพิบัติ (Disaster Recovery Plan) แต่ละแบบนี้มีความต่างกันหลักๆ ดังนี้

1. แผนฉุกเฉิน (Contingency Plan) เป็นแผนที่ตอบคำถามประเภทที่ว่า ถ้ามีสถานการณ์ปัญหาอย่างหนึ่งเกิดขึ้น เราจะทำอย่างไรเพื่อรับสถานการณ์นั้น

ตัวอย่างแผนประเภทนี้ที่เห็นโดยทั่วไป คือแผนหนีไฟ ซึ่งจะบอกคนในอาคารว่าถ้ามีไฟไหม้ จะลงประตูหนีไฟไหน เพื่อออกจากตึกได้อย่างไร และแผนฉุกเฉินสำหรับผู้โดยสารเครื่องบิน ซึ่งมักเป็นแผ่นๆ ใส่ไว้ในกระเป๋าหน้าที่นั่งผู้โดยสาร สอนว่าถ้าเครื่องบินตก ผู้โดยสารจะต้องทำอะไรบ้าง ตั้งแต่หาเสื้อชูชีพ ใส่เสื้อชูชีพ ออกจากเครื่องอย่างไร สอนว่าถ้าเครื่องมีปัญหาอากาศหายใจไม่พอ การสวมหน้ากากช่วยหายใจต้องทำอย่างไร ฯลฯ

แผนฉุกเฉินสำหรับผู้โดยสารเครื่องบิน มักเป็นรูปภาพ มากกว่าบรรยาย เพราะเวลาภาวะฉุกเฉินเกิดขึ้นจริง คนที่กำลังตกใจจะไม่มีเวลามานั่งอ่านคำบรรยาย นี่เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าประเด็นหลักในการเขียนแผนฉุกเฉินที่ดี คือเขียนให้อ่านง่าย หาวิธีรับสถานการณ์ได้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.แผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่อง (Business Continuity Plan) เป็นแผนที่ตอบคำถามภายในองค์กรว่า ถ้าจะรับสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้น ใครจะต้องทำอะไร เมื่อไหร่ ที่ไหน อย่างไร เพื่อให้ธุรกิจหรืองานหลักขององค์กร ยังดำเนินการต่อไปได้ แล้วทำอย่างไรจึงจะกู้สถานการณ์กลับมาทำงานตามปกติได้

ตัวอย่างในกรณีที่เครื่องบินโดยสารตก สำหรับสายการบินแล้ว แผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่องจะยุ่งยากซับซ้อนกว่าแผนฉุกเฉินให้ผู้โดยสารมาก ในการรับสถานการณ์ นักบินจะต้องทำอะไร แอร์โฮสเตสจะต้องทำอะไร หลังจากช่วยคนได้ สายการบินจะรับหน้านักข่าวอย่างไร จะกู้ชื่อเสียงอย่างไร จะป้องกันการฟ้องร้องค่าเสียหายได้อย่างไร ถ้าถูกฟ้องจริงๆ จะต้องทำอย่างไร จะกู้เครื่องอย่างไร ฯลฯ

ตัวอย่างในกรณีที่ไฟไหม้อาคาร สำหรับเจ้าของอาคารแล้ว เขายังต้องห่วงมากกว่าแค่เอาคนออกจากตึกให้พ้นภัย แผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่องจะต้องคำนึงว่าจะทำอย่างไร ผู้เช่าตึกจะไม่ย้ายออกหมด จะปรับปรุง บูรณะตึกให้คืนสภาพอย่างไร จะรับปัญหาทางกฎหมายต่างๆ อย่างไร ฯลฯ

3. แผนฟื้นตัวจากภัยพิบัติ (Disaster Recovery Plan) เป็นแผนกู้สถานการณ์ในระยะยาว ที่มักจะเน้นประเด็นการมีสถานที่สำรอง (back up site) เพื่อให้องค์กรยังดำเนินการได้ หากสถานที่ทำการโดยปกติประสบภาวะภัยพิบัติ

ตัวอย่างเช่น สายการบินที่มีศูนย์ข้อมูลระดับเอเชียแปซิฟิก ที่เก็บข้อมูลการซื้อขายตั๋วผู้โดยสารไว้ หากพายุไต้ฝุ่นเข้า ไฟไหม้ หรือภัยพิบัติอะไรก็ตาม รวมถึง Y2K ที่ทำให้ศูนย์นี้ทำงานไม่ได้ สายการบินจะสูญเสียรายได้หลายร้อยหลายพันล้านภายในเวลาสั้นๆ ดังนั้นสายการบินหลักๆ เช่น สิงค

โปร์แอร์ไลน์ จะมีสถานที่สำรอง ที่เขาเตรียมระบบคอมพิวเตอร์เหมือนกับที่ใช้ที่ศูนย์ข้อมูลจริง และมีข้อมูลที่สำรองไว้สม่ำเสมอ ภายในไม่กี่ชั่วโมงที่เกิดมีภัยพิบัติ พนักงานของสายการบินจะมาประจำการที่สถานที่สำรองนี้ การดำเนินการซื้อขายตั๋วจะดำเนินต่อได้ ผู้โดยสารจะติดขัดเพียงเล็กน้อย

บทความนี้จะไม่เน้นการจัดทำแผนฟื้นตัวจากภัยพิบัติโดยการเตรียมสถานที่สำรอง กรมหลายกรมของไทยมีสถานที่สำรองอยู่แล้ว เช่น กรมสรรพากร เป็นต้น แต่การจัดทำสถานที่สำรองนี้ถ้าป่านนี้หน่วยงานของรัฐใดยังไม่มี โอกาสที่จะจัดของบและจัดทำสถานที่ และฝึกคนให้เสร็จทัน 31 ธันวาคม 2542 แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย

นอกจากจะแยกแผนพร้อมรับสถานการณ์เป็นสามแบบแล้ว วิธีรับสถานการณ์ยังแยกได้ตามตัวผู้ปฏิบัติ สำหรับภายนอก (External Contingency plan) หรือ สำหรับภายใน (Internal Contingency plan) อีกด้วย

1. <u>แผนสำหรับภายใน:</u> แผนนี้เป็นข้อเสนอแนะเขียนให้คนภายในองค์กรเองปฏิบัติ หากปัจจัย/องค์กร ที่หน่วยงานต้องพึ่ง มีปัญหา ทำงานผิดพลาด ล่าช้าจนกระทบภาระกิจหลักของเรา เราควรจะเตรียมรับสถานการณ์อย่างไร ตัวอย่างแผนสำหรับภายใน คือแผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่องของสายการบิน

2. <u>แผนสำหรับภายนอก</u>: หรือคู่มือสำหรับคู่ค้าประชาชน แผนนี้เขียนให้ ประชาชน บริษัทคู่ค้า องค์กร หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยให้เขาเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ ไม่เดือดร้อนแม้ว่าภารกิจหลักขององค์กรของท่านผิดพลาดหรือล่าช้า จนกระทบคนอื่นที่ต้องพึ่งเรา เราควรเสนอให้เขาเตรียมตัวอย่างไร เราจะมีบริการเสริมอะไรที่ช่วยได้ถ้าเขาเดือดร้อน ตัวอย่างแผนสำหรับภายนอก คือ แผนฉุกเฉินสำหรับผู้โดยสารเครื่องบิน

แผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินนั้นเป็นการวางแผนบริหารความเสี่ยง ความเสี่ยงนั้นประเมินได้จากโอกาสที่จะเกิดปัญหากับผลกระทบของปัญหา การจัดทำแผนให้ลดความเสี่ยงได้ ถ้าไม่พยายามลดโอกาสเกิดปัญหา ก็ต้องพยายามลดผลกระทบของปัญหา ดังนั้นแผนฯ ต้องตอบคำถามหลักๆ ได้ดังนี้

(1) <u>มีสถานการณ์ใดบ้างที่ควรระวัง</u>

สถานการณ์ที่ควรระวัง คือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานภารกิจหลักๆ หรืองานที่สนับสนุนให้องค์กรของเราดำเนินการต่อไปได้ คือซึ่งถ้าเกิดขึ้นแล้ว จะส่งผลกระทบรุนแรง ลดประสิทธิภาพขององค์กรเรา จนเราปฏิบัติภารกิจหลักๆ ไม่ได้

ในการนี้เราจะต้องรู้เขารู้เรา ต้องรู้ว่าเราต้องพึ่งใครเขาบ้าง แล้วคนที่เราต้องพึ่งมีสถานภาพอย่างไร มีปัญหา Y2K หรือไม่ ต้องรู้ว่าเราต้องพึ่งปัจจัยอะไรบ้าง รู้ว่าเราถูกจำกัดด้วยกฎระเบียบ นโยบายอะไรบ้าง รู้ว่าเรามีขั้นตอนการทำงานอย่างไร มีจุดอ่อนอยู่ตรงไหน โดยเฉพาะจุดอ่อนในส่วนที่ทดสอบคอมพิวเตอร์/ซอฟต์แวร์แล้วพบว่า Y2K ไม่ผ่าน หรือส่วนที่ผู้ขายอุปกรณ์ไม่ยอมตอบว่ามีปัญหา Y2K หรือไม่

เมื่อรู้เขารู้เราแล้ว เราก็จะสามารถไล่วิเคราะห์ดูได้ว่ามีสถานการณ์ไหนบ้างที่ต้องระวัง เพราะจะมีผลกระทบกับงานเราในระดับที่เรารับไม่ได้ อาทิ

- ถ้าคนที่เราต้องพึ่ง ให้บริการหรือให้ข้อมูลที่เราต้องการไม่ได้
- ถ้าปัจจัยที่เราต้องพึ่ง ขาดแคลน หรือทำงานผิดพลาด
- ถ้ามีขั้นตอนในส่วนที่เป็นจุดอ่อนของเรา ติดขัดขึ้นมาจริงๆ

ฯลฯ

(2) <u>จะลดโอกาสที่จะเกิดปัญหานั้นได้อย่างไร</u>

การวางกลยุทธสำหรับสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงสูงเพราะมีโอกาสเกิดสูง อาจทำได้โดยพิจารณาหาทางเตรียมการล่วงหน้า เช่น

- สำรองปัจจัยที่เกรงว่าจะขาดแคลนให้พอ เช่น ถ้าเกรงว่าน้ำจะไม่ไหล ก็สำรองน้ำไว้ ถ้าเป็นบริษัททำอาหารกระป๋อง ที่ซื้อกระป๋องจากคน

อื่น อาจสำรองกระป๋อง ถ้าเป็นโรงพยาบาล ก็อาจสำรองน้ำมันสำหรับเครื่องปั่นไฟ เพื่อให้บริการได้นาน ฯลฯ

- มีนโยบายหยุดงาน ในช่วงที่เสี่ยงสูงว่าจะมีปัญหา ถ้าทดสอบแล้วระบบคอมพิวเตอร์ รู้แล้วว่าจะมีปัญหา Y2K ในบางช่วง การหยุดงานลดความเสี่ยงได้ เพราะถ้าคอมพิวเตอร์ไม่ได้ถูกเปิดเครื่องขึ้นมา มันก็ทำร้ายเราไม่ได้ ถ้าเครื่องบินไม่บินขึ้น ก็ย่อมตกลงมาไม่ได้ ฯลฯ
- มีศูนย์บริหารสถานการณ์ฉุกเฉิน ถ้าหยุดงานไม่ได้ในช่วงที่เสี่ยงสูงว่าจะมีปัญหา ศูนย์นี้จะมีศักยภาพที่จะรับสถานกาณ์ฉุกเฉินถ้าเกิดขึ้นในช่วงที่เสี่ยงสูง สำหรับองค์กรที่ปิดบริการในช่วงที่เสี่ยงสูงว่าจะมีปัญหาไม่ได้ เช่น โรงพยาบาล องค์การโทรศัพท์ เป็นต้น ฯลฯ

(3) <u>แต่ถ้าเกิดขึ้นแล้ว จะแก้อย่างไรจึงจะไม่เดือดร้อนมาก</u>

การวางกลยุทธสำหรับสถานการณ์เมื่อเกิดขึ้นแล้ว ทำได้สองระดับ คือระดับแผนฉุกเฉิน คือตอบว่าถ้าสถานการณ์นี้เกิดขึ้น จะทำอย่างไร และในระดับแผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่อง คืออธิบายต่อว่าในการดำเนินกลยุทธดังกล่าว ใคร จะต้องทำอะไร ที่ไหน อย่างไร เมื่อไหร่ ฯลฯ

กลยุทธนี้ไม่ใช่เขียนขึ้นมาเฉยๆ ก็จบ เพราะต้องมีการเตรียมปัจจัยที่ทำให้ดำเนินกลยุทธได้ อาทิ ถ้าจะใช้กลยุทธกู้ข้อมูลคืนจากที่สำรองไว้ ก็ต้องมีเครื่องที่ใช้สำรองข้อมูล และมีสื่อสำรองข้อมูลด้วย และต้องมีการซ้อมแผน ว่ากู้ข้อมูลคืนได้จริง เพราะถ้าทำไม่ได้ เนื่องจากไม่มีงบซื้อเครื่องสำรองข้อมูล วิธีนี้ก็จะพับไปโดยปริยาย

(4) <u>ในที่สุดจะกู้สถานการณ์ให้กลับคืนสู่ภาวะปกติอย่างไร</u>

การวางกลยุทธสำหรับเพื่อฟื้นตัวจากภาวะวิกฤต หรือภัยพิบัติ เป็นกลยุทธระยะยาว อาทิ เรียกช่างมาแก้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีปัญหา จัดทีมงานแก้ปัญหา Y2K ในซอฟต์แวร์ให้เสร็จหรือซื้อซอฟต์แวร์อื่นๆ มาทดแทน ฯลฯ

แผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินไม่ว่าจะใช้รูปแบบไหนก็ตาม จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตอบคำถามทั้งสี่ที่กล่าวมาเบื้องต้นนี้ให้ได้ และที่สำคัญมากคือ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเลือกคนมาหาคำตอบให้ถูกคน สิ่งที่มีคนเข้าใจผิดสูงมากคือแผนฉุกเฉินนี้เขียนสำหรับระบบคอมพิวเตอร์และหลงคิดไปว่าคนเขียนควรเป็นคนในสายไอทีเป็นหลัก ที่จริงแล้ว แผนฯ นี้เขียนสำหรับภารกิจงานขององค์กรเป็นหลัก ไม่ขึ้นอยู่กับว่าภารกิจนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์หรือไม่ (เพราะคนอื่นๆ ก็ทำเราเดือดร้อนได้) และคนเขียนควรเข้าใจงานพอที่จะหาวิธีสำรองในการดำเนินภารกิจนั้นให้ได้ผล คนไอทีจะเข้ามาช่วยในกรณีที่การดำเนินภารกิจนั้นมีการใช้คอมพิวเตอร์ด้วย หรืออาจจะถูกผลกระทบจากระบบคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการเขียนแผนพร้อมรับสถานการณ์ปี ค.ศ. 2000 ระดับองค์กร

1. เลือกระบบงานที่จะเขียนแผน
2. สำหรับแต่ละระบบงาน
   - วิเคราะห์สถานภาพของงาน
   - ระบุสถานการณ์ที่ควรระวัง
   - เขียนแผนฉุกเฉิน
   - เขียนแผนดำเนินธุรกิจต่อเนื่อง
   - เขียนข้อเสนอแนะสำหรับคู่ค้าประชาชน
3. รวมแผนของระบบงานให้เป็นแผนระดับองค์กร
4. การเตรียมปฏิบัติการ / ซ้อมแผน
5. ปรับปรุงแผน
6. ขออนุมัติแผนจากผู้บริหาร

สรุป

การมีแผนสำรองฉุกเฉินสำหรับผู้โดยสารเครื่องบิน เผื่อกรณีเครื่องบินตกนั้น ถามว่ามีใครอยากมีโอกาสได้ใช้แผนนั้นไหม คงต้องบอกว่าไม่อยาก แต่ถามว่ามีใครบ้างที่บอกว่าแผนนี้ไม่จำเป็น คนทุกคนก็ต้องบอกว่าจำเป็น ดังนั้นแผนพร้อมรับสถานการณ์ฉุกเฉินจึงคือการเขียนเผื่อสถานการณ์ที่

ร้ายๆ แล้วก็ภาวนาว่าขอให้อย่ามีโอกาสต้องใช้ แต่ก็จำเป็นต้องจัดทำไว้ เพื่อให้มีความมั่นใจว่าหากเรื่องร้ายนั้นเกิดขึ้นจริง เรารู้วิธีเอาตัวรอดได้

ดร. ชนม์ชนก วีรวรรณ จบการศึกษาปริญญาเอก สาขา Computer Science จาก Purdue University ปี 2537 ปริญญาโท สาขา Computer Science จาก Purdue University ปี 2528 ปริญญาตรี สาขา Computer Science จาก University of South Carolina ปี 2526 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรักษาการหัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมภาษาและซอฟต์แวร์ และประธานคณะทำงานประสานการแก้ไขปัญหาคอมพิวเตอร์ปี ค.ศ. 2000 ภายในศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ หรือ NECTEC Y2K Taskforce (4 มกราคม 2542 – ปัจจุบัน) และได้รับเกียรติจาก ฯพณฯ ท่านรองนายกรัฐมนตรี นายไตรรงค์ สุวรรณคีรี ให้เป็นที่ปรึกษาในด้านการแก้ปัญหาคอมพิวเตอร์ปี ค.ศ.2000

THAI TYPE STYLE RECOGNITION

Chularat Tanprasert, Sutat Sae-Tang

National Electronics and Computer Technology Center,
National Science and Technology Development Agency,
Ministry of Science, Technology and Environment,
539/2 Gypsum Metropolitan Tower, 22nd Floor,
Sriayudhya Rd., Rajthevi, Bangkok, THAILAND 10400
E-mail : chulak@nectec.or.th, sutat@notes.nectec.or.th

ABSTRACT -- Thai typed character recognition has been a very most popular research topic in Thailand. There are three commercial Thai OCR softwares available to the public at the present. But none of them can preserve the type styles of the original document image such as bold, italics, normal, and bold & italics styles into the output text file. This paper presents the technique for preserving the specified Thai type styles by applying a specific preprocessing with a supervised neural networks (NNs) learning algorithm. Experiments have been conducted and the results confirm that the proposed technique effectively preserve the type styles of Thai typed fonts from the original document image into the output text file.

บทคัดย่อ -- การรู้จำตัวพิมพ์อักษรไทยเป็นหัวข้อวิจัยที่กำลังนิยมมากหัวข้อหนึ่งในประเทศไทย ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ทางด้านนี้ในท้องตลาดของประเทศไทย 3 ซอฟต์แวร์ด้วยกัน แต่ไม่มีซอฟต์แวร์ตัวใดเลยที่สามารถรู้จำรูปแบบตัวอักษรของเอกสารต้นฉบับได้ ตัวอย่างเช่น ตัวปกติ ตัวหนา ตัวเอียง และตัวหนาเอียง บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการรู้จำรูปแบบตัวอักษรไทยโดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้สอนช่วยในการรู้จำ ผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถรู้จำรูปแบบตัวอักษรภาษาไทยจากภาพลักษณ์ตัวอักษรสู่แฟ้มข้อความได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. INTRODUCTION

Thai typed character recognition is quite a complex problem and there are several proposed techniques to solve it [1] [2] [3]. The reasons of the difficulty of solving the problem are a number of characters in Thai language, the 4-level of Thai sentence (Figure 1), and the similarity of Thai characters. There are 44 consonants, 32 vowels, 4 tone marks, 10 Thai digits, and 5 special symbols in Thai language which make the total number of characters to be almost 100 characters. In addition, there is no space between each Thai word which causes a difficulty of the segmentation process. Thai characters are complex and compose of circle, zigzag, curves, and head.

Satisfying level of success is reached with the effort of Thai researchers to solve the Thai OCR problem. But there is no research to recognize the Thai type styles at present. This paper presents a technique to solve the problem by using the artificial neural networks with a specific preprocessing template. The result will be combined with the ASCII code of each character to produce the output file with the exact characteristics of the original images. We considered only Thai consonants and vowels here. In addition, some vowels are placed in the level 1 or 3 in Figure 1 which their type styles can be determined by the character at level 2 so it is not necessary to put these vowels in the type style recognition. Hence, the Thai characters for the type style recognition remains 51 characters as shown in Figure 2.

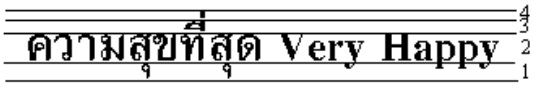


Figure 1. Four levels of Thai sentence.

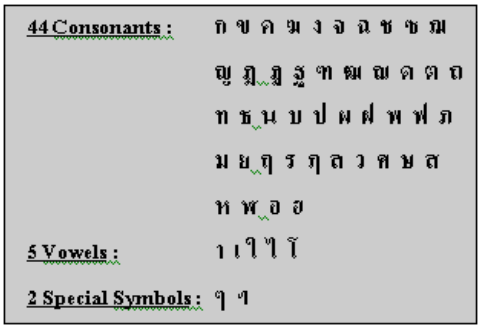


Figure 2. The Thai character set for the type style recognition.

2. PRINCIPLE CONCEPTS

We consider four type styles of Thai typed characters. They are normal, bold, italics, and bold & italics. Therefore, there are two main features to extract for the Thai type styles : the thickness and the inclination of characters. We have designed and experimented several types of template to extract these two features from the raw bit-map character images. The best template preserves the two main characteristics and gives an average recognition at 93.31% with the unseen testing documents.

First of all, we have to prepare the data before applying the template. The data preparation step consists of:

- **Binary transformation.** This process is to transform the bit-map image into binary code (0, 1) format. The 0 represent white bit-map pixel and 1 represent black bit-map pixel.
- **Block coloring.** This process is to identify the image of the isolated character from the document image by scanning the image from top to bottom and left to right to find a black bit-map pixel. When it is founded, the near eight pixels of 8 directions around the black pixel are also checked, and so on.
- **Line separation.** After passing the block coloring process, the text lines of the image and the level of each isolated character images are identified.

After the data preparation step, we obtain the number of characters in the image, each character image, the position of each character image and the location of each line and the level of each character image. Since the considered 51 characters are all placed in level 2, we can discard the character images of level 1, 3, and 4.

Before applying the template, character set is divided into three groups determined by the number of vertical legs of character. This process is applied to reduce the complexity of the NN classifiers and it is called a rough classification step. They are grouped as 1-leg, 2-leg, and more than 2-leg. Horizontally histogram and an average in type "mode" of 0-1 transitions are applied to find out the number of legs of character. Our experimental data is contained Thai characters of eight Thai fonts. Table 1 illustrates the members of each group from the rough classification process. Some characters (as shown in bold & italics type style in Table 1) are fitted into more than one group as shown in Table 1.

The detail algorithm for dividing Thai character images into groups by counting the number of legs is shown below:

1. Find out the number of 0-1 transitions in each horizontally sequence of original character image.
2. Find out the "mode" of transition numbers.
3. Use specified rules to adjust the number of character legs, such as the long-tail of characters are not counted into the number of character legs (ป, ฝ, ฟ, ๆ, ฎ).

Number of Members	Number of Legs	Member of the Group
13	1	ร เ โ ไ ใ ***ง จ ฐ ธ ว ๆ า ๅ***
42	2	ก ข ค ฉ ช ซ ฎ ฏ ฑ ถ ท น บ ป ผ ฝ ภ ม ย ฤ ล ฦ ศ ษ ส ห พ อ ฮ ***ฆ ง จ ฐ ด ต ธ พ ฟ ว ๆ า ๅ***
9	>2	ฌ ญ ฒ ณ ***ฆ ด ต พ ฟ***

Table 1. Illustrates member of the three groups

Beside dividing the character set into groups, we proposed the templates to extract main features to recognize the type styles for a fine classification. There are three main templates : one is used with the original size of a character image and the others are applied to the 32x32 bit-map image which is obtained by transforming the original character image into the specified size. The transformation is required to obtain the easier computations in the template 2 and 3.

The 32x32 bit-map image is an image which transformed from actual size into 32 pixels for both width and height. This technique is called a normalization. This normalization technique is applied to simplify and balance the input character images which have different sizes and obtain from different resolutions. The technique is performed by calculating two ratios – the width ratio and the height ratio. The width ratio is the ratio between the character image actual width and the user required width. In the same way, the height ratio is the ratio between the character image's actual height and the user required height. These ratios applied to an original isolated character image to transform both width and height into 32x32 matrix.

The first template is applied to extract the thickness of a line of a character in the horizontal direction. We divide the height of the original character image into five equal parts and find out the ratio of black pixels per total number of pixels along the four lines as shown in Figure 3. The four ratios (1- 4) will be used as the input to the neural network later.

Then the original character image is transformed into 32x32 bit-map of pixels and sended into the 2nd and 3rd templates as shown in Figure 3 and 4, respectively. Second template is designed to obtain the thickness of

character in vertical direction. The template is divided into four vertical equal parts. Character body in each part is thinned and the ratio between the remaining black pixels and the total black pixels before thinning is calculated. Therefore, the four real numbers (5-8) are obtained from this template.

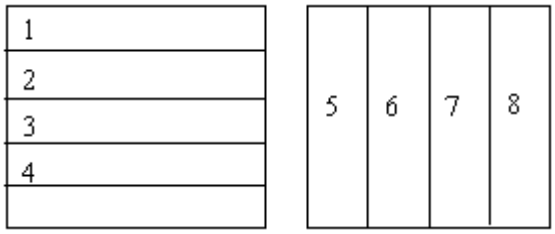


Figure 3. Show the 1st and 2nd templates.

The third template is shown in Figure 4. Each ratio is obtained by counting the number of black pixels divided by the total number of pixels along the template segment with the width of two pixels to both left and right of the segment. Segment 9 through 13 and segment 24 through 28 are created to extract the thickness of character body in the vertical and horizontal direction, respectively. The inclination of character can be detected by segment 14 through 23. Same characters from different Thai fonts may have different slopes of inclination. The inclination segment can be distinguished between a long-tail character (such as ป, ฝ, ฟ) and a short-tail character (such as บ, ผ, พ). Segment 14 through 18 are created to detect the inclination of the long-tail group and segment 19 through 23 are created to detect the inclination of the short-tail group.

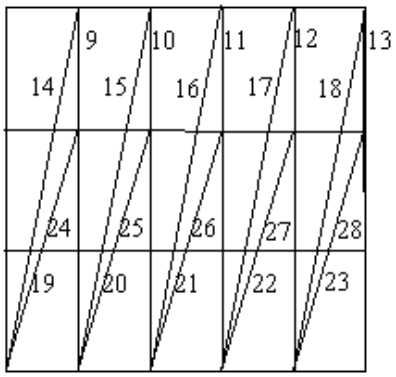


Figure 4. Show the 3rd templates.

We obtain 20 real numbers from this template. Combining with the 8 real digits from the 1st and 2nd templates, the input to ANN is a vector of 28 real numbers plus the ratio between the width and height of the original character image.

Back-propagation learning algorithm [4] is employed to recognize the Thai four type styles with the 29 real number input format. This is because our problem is suitable with the supervised algorithm and the back-propagation is a very promising technique for a classification problem with known pairs of input-output.

3. EXPERIMENTS

SNNS (Stuttgart Neural Networks Simulator) [5] is employed in the training process. Several experiments are conducted on eight popular Thai typed character fonts on the Microsoft Windows system, namely AngsanaUPC (AS), BrowalliaUPC (BW), CordiaUPC (CD), DilleniaUPC (DL), EucrosiaUPC (EC), FreesiaUPC (FS), IrisUPC (IR), and JasmineUPC (JM). Examples of sentence in some fonts are shown in Figure 5. As mentioned previously, there are four Thai type styles to recognize in the paper : normal (N), bold (B), italics (I), and bold & italics (B&I).

All eight fonts can be categorized into 2 groups by using the thickness and the inclination of characters with manual visualization. First group contains AS, EC, IR, and JM fonts and the second group contains BW, CD, DL, and FS fonts.

The total number of distinct characters of each font and each size is 51 characters. Each data set includes characters from each font in 5 different sizes (14, 16, 18, 20, and 22 points size), in 4 styles (normal, italics, bold, italics & bold) with nine different scanning resolution (200-400 dpi) in black and white drawing style. We have divided the data set into a training and a validation sets where six scanning resolutions are in the training process and the rest is for the validating purpose. So the total number of the training patterns is 8*5*4*6*51 = 48,960 character images and of the validating set is 8*5*4*3*51 = 24,480 images.

Each input document image is passed through the preprocessing system which include noise cleaning, line & character segmentation, each character's image rough classification, and template preprocessing technique. After all the preprocessing, an image of each character is encoded in an array of size 29 real numbers. The recognition rate of the training and validating sets are illustrated in Table 2 and Table 3A and 3B. The recognition rate of Table 2 is obtained with eight fonts in the training & validating set. In addition, Table 3A and 3B are illustrated the recognition rate of 2 training & validating sets, each one obtains four fonts which separate by manual visualization.

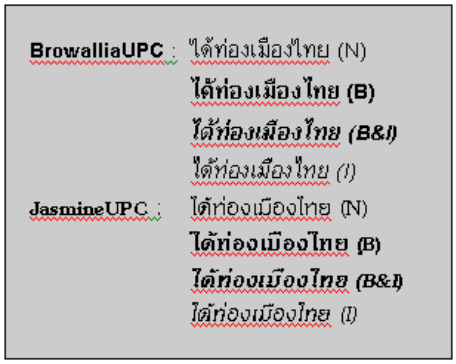


Figure 5. Examples of the experimented Thai typed fonts

The experimental recognition rate in Table 3A and 3B are very high and better than the ones in Table 2. Hence, the dividing of eight fonts into two groups by manually visualization of researchers gives a better performance.

Data	Recognition Rate (%)				
	N	B	I	B&I	AVG
Training Set	95.4	97.8	98.2	96.7	97.0
Validation Set	93.5	97.2	96.6	95.6	95.7

Table 2. Recognition rate of eight fonts.

Data		Recognition Rate (%)				
		N	B	I	B&I	AVG
AS	Training Set	97.8	98.0	99.5	97.8	98.3
	Validation Set	95.2	97.8	97.9	97.5	97.1
EC	Training Set	97.1	98.4	98.1	98.7	98.1
	Validation Set	92.3	95.7	95.4	95.8	94.8
IR	Training Set	97.6	99.1	99.1	99.3	98.8
	Validation Set	95.7	98.4	97.3	98.8	97.6
JM	Training Set	97.5	99.6	98.3	98.8	98.5
	Validation Set	96.5	99.4	97.0	97.0	97.5
ALL	Training Set	97.5	98.8	98.8	98.6	98.4
	Validation Set	94.9	97.8	96.9	97.3	96.7

Table 3A. Recognition rate of AS, EC, IR, JM fonts.

Data		Recognition Rate (%)				
		N	B	I	B&I	AVG
BW	Training Set	99.1	99.5	99.6	99.5	99.4
	Validation Set	96.9	98.3	96.7	98.2	97.5
CD	Training Set	99.7	98.9	99.7	99.4	99.4
	Validation Set	98.6	97.0	97.9	98.2	97.9
DL	Training Set	99.9	99.4	99.5	99.2	99.5
	Validation Set	99.9	98.0	97.5	97.8	98.3
FS	Training Set	98.9	99.8	98.8	99.7	99.3
	Validation Set	96.3	99.4	96.0	98.4	97.5
ALL	Training Set	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4
	Validation Set	97.9	98.2	97.0	98.1	97.8

Table 3B. Recognition rate of BW, CD, DL, FS fonts.

File Name	DPI	Number of Characters	Average Recognition Rate (%)
Test1	200	263	91.75
Test2	300	263	95.44
Test3	400	512	93.55
Test4	200	512	91.99
Test5	300	1437	94.43
Test6	400	1437	92.69

Table 4. Recognition rate on the testing documents.

The trained ANN has applied to test on several unseen documents. Examples of testing document images are shown in Figure 6. The recognition rates of the unseen testing documents are shown in Figure 4. Therefore, it can be confirmed that the proposed techniques effectively preserve the type styles. The output will be further extended to Thai & English type style recognition and combined with Thai & English OCR software as the next step. The proposed templates should be applicable with the English characters with a slightly modification.

Figure 6. Part of testing document images (Test5).

4. SUMMARY

The proposed technique is applied to preserve the type style of Thai characters from the original document image into the output text file. Number of legs is used in the rough classification step to divide all characters into three groups and then the templates are applied to extract two main features which are the thickness and the inclination of character image. We have designed and experimented several types of template to extract these two features from the character images. The best three templates preserve the two main characteristics and give the average recognition at 93.31% with the unseen testing documents. Therefore,

the experimental results confirmed that the proposed technique effectively preserve the Thai type styles.

REFERENCES

[1] Kimpan and S. Walairacht, "Thai Characters Recognition", *Proceedings of the Symposium on Natural Language Processing,* Thailand, pp. 196-276, March 1993.

[2] C. Tanprasert and T. Koanantakool, "Thai OCR : A Neural Network Application", *Proceedings of 1996 IEEE Region Ten Conference,* Vol. I, pp. 90-95, November 1996.

[3] C. Tanprasert, W. Sinthupinyo, P. Dubey, and T. Tanprasert, "Improved Mixed Thai & English OCR using Two-step Neural Net Classification", *Proceedings of the 1997 International Conference on Neural Information Processing and Intelligent Information Systems,* Vol. 2, pp.1227-1230, 1997.

[4] E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning Internal Representations by Error Propagation", *Parallel Distributed Processing : Explorations in the Microstructure of Cognition,* Vol. 1, Foundations, A Bradford Book, MIT Press, 1986.

[5] "SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator) User Mannaul, Version 4.1", University of Stuttgart, Institute for Parallel and Distributed High Performance Systems (IPVR), Report No. 6/95.

BIOGRAPHIES

Chularat Tanprasert

Dr. Chularat Tanprasert received her BS (Mathematics 1st honor, 1989) from Chulalongkorn University, and her MS (1991) and PhD (1994) degrees in computer science from University of Louisiana at Lafayette, USA. After her graduation, she has joined the Software and Language Engineering Laboratory (SLL) of NECTEC and worked in Thai OCR project since then. She has also been involved in a number of practical projects such as Thai word processor, web 13, and speaker identification. Her mission as a computer scientist is to advance the theory and application of information processing and computer technologies. Her areas of interest include neural networks, pattern recognition, database systems, artificial intelligence, data mining, and knowledge base.

Sutat Sae-Tang

Sutat Sae-Tang received his BA in Management Information Systems (MIS) with second honours from Rajamangala Institute of Technology in 1993 and MS in Computer Science from Mahidol University in 1998. He joined the Software and Language Engineering Laboratory (SLL), NECTEC since November 1997 as a Research Assistant. His expertise are Internet/Intranet Programming, Database System, System Analysis and Design and PC Programming. He is involved in Thai OCR and Speaker Identification project. His research interests are Optical Character Recognition, Pattern/Speech Recognition, Image Processing and Internet/Intranet Technology.

Thailand's Hard Disk Drive Industry
Future Developments in a Regional Context

Summary of Findings of Workshop
And
The Elements of an Action Plan

Bangkok, July 16, 1999

Prepared by The Brooker Group
August 30, 1999

This note draws together the main findings of the Workshop on Thailand's Hard Disk Drive Industry: Future Developments in a Regional Context. Copies of all the presentations, complete country and topic research papers, related background materials are available at the web site of The Information Storage Industry Center of the University of California, San Diego http://www-irps.ucsd.edu/~sloan/. They can also be obtained by e-mailing idema@brookergroup.com. See the attachment to this note for more details.

Since the Workshop, considerable progress has been made in the development of a Thailand branch of the industry association – IDEMA (see www.idema.org) – as well as the development of specific training programs, technical symposiums, and other activities designed to support the disk drive industry. The first meeting of the IDEMA Thailand Management Committee took place on September 15, and an ambitious Disk Drive Technical Symposium is planned for November 1999. For more details on the proposed IDEMA/Asian Institute of Technology Certificate of Competence in Storage Technology, please contact AIT (Dr. Nitin Afzulpurkar - E-mail: nitin@ait.ac.th).

Introduction to the Workshop

Thailand's Hard Disk Drive Industry workshop was organized by the National Science and Technology Development Agency and the Federation of Thai Industries, in cooperation with the Thailand Board of Investment, the University of California San Diego, and the Brooker Group. The Workshop brought together high-level representation from both the private and public sectors to discuss the industry and formulate plans for future development.

The Information Storage Industry Center of the University of California, San Diego provided strong support to the activity – both in terms of the path-breaking and innovative research outputs on the development of the global hard disk drive (HDD) industry, as well as their active support for and participation in the symposium. The Workshop was supported by funds from the Alfred P. Sloan Foundation of New York.

The keynote speech was delivered by H.E. Suvit Khunkitti, former Minister of Science, Technology and Environment, who was followed by an inspirational presentation from Tom Mitchell, the founder of the disk drive industry in East Asia.

The Workshop was then briefed on the global status of the HDD industry and the present situation of the HDD sector in Thailand, Malaysia and Singapore. The International Disk Drive Equipment and Materials Association (IDEMA) provided insights on the association's role in the industry, with a focus on human resource development in East Asia.

Following lunch, a panel comprising representatives from the Thailand Board of Investment and the private sector contemplated the critical issues facing the Thai HDD industry.

In his introductory remarks, the Minister of Science, Technology and Environment identified the following broad areas that he felt needed to be considered:

- Human resource needs and management and recommended policies;
- The elements of a technology strategy for the HDD industry – clearly identifying the respective roles of the government and of the business community;
- Measures to improve supply chain management – including policies for the effective movement of goods and information;
- Strengthening the growth and efficiency of supplier industries – through a policy package including incentives, promotion, and enhanced information exchange; and

- The development of a higher quality business operating environment.

The participants were also divided into four groups to discuss the first four of these issues, with the objective of working toward an Action Plan for the Thai HDD Industry. It is hoped that this Action Plan will be able to support the government's efforts to support the development of the electronics industry in general and the disk drive industry in particular.

The Thai HDD Industry: Background and Context

Thailand has played an important role in the growth and success of the global disk drive industry. Indeed, one of the major findings of the research project is that the American disk drive industry would likely not have been able to survive without relocating large parts of the operations to East Asia.

The country is the home to one of the largest concentrations of drive production and production workers in the world. Disk drive industry firms are among Thailand's major exporters; Seagate and Minebea are the largest foreign employers in the country.

Critical Challenges for the Thai HDD Industry

Thailand has succeeded in attracting disk drive makers through stable macroeconomic conditions, reasonable infrastructure, and cost-effective labor.

But these advantages will no longer suffice to attract and deepen disk drive investments for a number of key reasons:

- Greater pressure for lower cost, higher quality, and quicker time-to-market. Strong downward trends of disk drive prices will continue, placing pressure throughout the supply chain;
- Greater attraction for investments in China and Philippines, and other lower-cost markets;
- Increased pressure for automation, which will encourage firms to move to areas where a strong technical base is available. Quality and speed (especially of new product ramp-up) are just as important as labor costs in determining the attractiveness of different manufacturing locations;
- Thailand requires significant upgrading with regards to technical skills, the supplier base and support infrastructure.

Thailand Contrasted to Singapore and Malaysia

Thailand, Singapore and Malaysia are all major players in HDD manufacturing in the region. However, there remain some key differences.

Firstly, Thailand lacks concrete and specific policies to promote and develop HDD industry. This contrasts with Singapore, which has implemented proactive strategic policies through various institutions, with a focus on cooperation between the public and private sectors to promote manpower development, technological upgrading, and the development of supporting industries, and with Malaysia that has an Industrial Master Plan which includes not only technology capability development but also research and development, product design and development of integrated supporting industries. The state of Penang, in particular, has taken proactive measures to attract and retain the HDD industry, including the establishment of the Penang Skills Development Center. Both Singapore and Malaysia have been very proactive with promotional strategies to attract new players to the their respective markets.

Secondly, general infrastructure and administrative support from relevant government agencies in Thailand remains low compared to that of her neighbors.

Lastly, the extent of backward industry linkages is much greater in Singapore and in Malaysia than in Thailand. Singaporean and Malaysian supplier industries are flourishing and venturing into overseas markets. In addition, Singapore has devoted considerable resources to establishing itself as a regional hub for the HDD industry, as well as developing world-class supporting industries and services.

A Summary of Thailand's Strengths and Weaknesses (derived from a paper by the Thailand Board of Investment)

Strengths

- Thailand is one of the largest production bases of HDD in the world, and has attracted many producers of HDD parts and components, especially in the motor area;
- Thailand is the largest production bases of three leading HDD producers: Seagate, IBM, and Fujitsu;
- Thai workers are hard working and have the levels of skill necessary to manufacture delicate products and components. Thai workers, even with limited English proficiency, actually command higher salaries than those with the same level of education in other countries, such as the Middle East, Singapore, and Taiwan;
- Generous investment incentives especially for firms located in Zone 3;
- Thailand has political stability; and
- Good labor relations.

Weaknesses

- It remains difficult to find high-quality engineers in Thailand;
- Thailand does not have production bases of disk media and wafer fabrication to support HDD production;
- Foreign companies dominate HDD and related parts production in Thailand. Thai indigenous companies have very little involvement in HDD industry;
- The trend in the HDD industry is moving toward automation, and away from labor-intensive production in which Thailand has comparative advantage; and
- There is little R&D activity on HDD in Thailand.

Critical Findings

Two key areas appear critical to support the development of the new technological capacities required to support the growth of high-tech industries.

First, a deeper technical understanding of the industry and of the industry's needs on the part of government officials. Emphasis must be shifted from increasing numbers of jobs and investment volumes, to raising the quality of investment and of the business operating environment.

Second, greater exchange of information and ideas within and with the private sector must be encouraged and facilitated by the public sector – such activities in the disk drive industry have been fragmented and weak to date. A strategic approach must be taken to strengthen the foundations for the future growth of the Thailand's disk drive industry.

Towards an Action Plan

To develop the HDD industry in Thailand, four interactive breakout groups worked together to develop an action agenda for the HDD industry in Thailand.

The following four topics were considered:

- Human resource needs and management and recommended policies
- Elements of technology strategy for HDD: Roles of government and business community
- Measures to improve supply chain management policies for the effective movement of goods and information
- Growth and efficiency of supplier industries

The groups discussed problems in each area, actions to be taken, and responsible agencies. The results of the discussions are summarized in Table 1.

Attachment

The following slide presentations and documents, presented at the "Hard Disk Drive Industry Workshop" in Bangkok on July 16, 1999 at the Queen Sirikit National Convention Centre, can be obtained at: http://www-irps.ucsd.edu/~sloan/. Or by e-mailing: idema@brookergroup.com .

PRESENTATIONS:

KHEM1.DOC:	Welcoming remarks and introduction, Mr. Khemadhat Sukhondasingha
SUVIT1.DOC:	Keynote speech, H.E. Suvit Khunkitti, Former Minister of Science, Technology and Environment
MITCHELL.PPT:	Thailand's Hard Disk Drive Industry: Future Developments in a Regional Context, Tom Mitchell
DAVID.PPT:	The geographic evolution of the disk drive industry, David McKendrick
PHASES.PPT:	Hard Disk Drive Industry in East Asia: The Three Main Development Phases
ROGER.PPT:	Survival in the HDD industry, Roger Bohn
IDEMA.PPT:	International Disk Drive Equipment and Materials Association, Larry Eischen
GOH.PPT:	HDD training needs in South East Asia, S.H. Goh
WONG.PPT:	The Dynamics of HDD Industry Development in Singapore, Wong Poh Kam
ANNA.PPT:	HDD industry in the northern region of Malaysia, Anna Ong
RICHARD.PPT:	Thailand's HDD industry, Rick Doner/Peter Brimble
CHAKCHAI.PPT:	Key challenges facing the Thai HDD industry, Chackchai Panichapat

Table 1. The results of the discussions.

1. Human resource needs and management and recommended policies		
Issue	***Action***	***Responsible Agencies***
1. Lack of Engineering Skills • Quantity/ quality • Industry specific • Firm specific • Basic research • Creative thinking	• Expand and improve university education programs • Support industry training and HDD training activities • Implement incentives to foster firm level training • Create institutes for basic training and research (such as a tool and die institute) and allocate government resources to support these activities	• Ministry of Education and Ministry of University Affairs • IDEMA • Firms • Education system as a whole
2. Improve Communications • Private/ private • Public/ private • Public/ public • Need a forum	• Form an HDD Industry Association and promote membership • Create steering committee for the HDD industry • Choose a champion (a "crazy person")	• IDEMA • NECTEC • AIT/academia • The industry
3. *Need to promote values of knowledge and learning: vicious cycle/virtuous cycle and continuous learning*	• Promote an initiative that will create strong linkages between academia, industry, and government	• IDEMA • NECTEC • AIT/academia • The industry
4. *Need for better understanding of the costs and benefits of training/ education*	• Coordinate with industry on type and needs of education and training • Training and education arising from basic R&D activities	• Industry association(s) • R&D/specialized training institutes (such as the Electrical and Electronics Institute)
2. Elements of technology strategy for HDD: Roles of government and the business community		
5. *Poor communication between government and business (tendency for firms to contact government officials individually)*	• BOI should include HDD firms collectively in the discussions leading up to the Board's decisions to reform investment incentives	• BOI • The industry
6. *Lack of industry-specific expertise among government officials*	• Establish internship programs through which BOI and MOI officials work in HDD firms for extended amount of time. • Have the government officials attend IDEMA training sessions	• IDEMA • Ministry of Industry • Board of Investment • MOSTE/NECTEC
7. *Lack of overall government strategy for the industry*	• Need to develop clearer concept of government's roles and core organizational issues • Develop industry specific understanding	• IDEMA/the industry • Ministry of Industry • Board of Investment • MOSTE/NECTEC
8. *Lack of private sector-wide discussions of industry issues*	• Involve associations in discussions about incentive reforms and training • Build on successful associational discussions on remuneration issues among HDD firms	• The industry • IDEMA • Related government agencies

3. Measures to improve supply chain management policies for the effective movement of goods and information		
9. *Paper work at customs and difficult-access EDI system for customs clearance*	• Need improvement of customs information system and processes (this is apparently underway)	• Customs Department • Specialized computer engineers
10. *Legal problems on vendor warehousing*	• Learn from other countries with similar tax structures	• Customs Department • Board of Investment
11. *High levels of cargo handling damage*	• Enhance accountability of cargo handling agents	• Airport Authority • Airlines/Shippers • Port Authority of Thailand
4. Growth and efficiency of supplier industries		
12. *Open communication and collaboration between government, private sector and institutions*	• Form a tripartite committee with mutual confidence building	• IDEMA • BOI • MOI • The industry • Universities/training institutions
13. *Lack of skilled staff*	• Promote industry specific and technical training • (see above section 1)	• BOI • MOI • The industry • Universities/training institutions
14. *Lack of development of automation technology*	• Creation of an automation development center • Formulation of a 10-year vision for automation	• MOSTE/NECTEC • Ministry of Industry
15. *High costs of overhead and support services*	• Provide incentives to attract International Procurement Offices (IPOs) • Creation of non-profit government-subsidized center for support services such as waste treatment, chemical analysis, analytical services, calibration, training institutes	• BOI/Ministry of Finance • Industrial Estate Authority of Thailand • Ministry of Industry
16. *Need for development of multi-disciplinary supporting industries*	• Creation of HDD technology roadmap for supply industry • Selective targeting of foreign investors with suitable technologies to fill technology gaps	• Ministry of Industry • MOSTE/NECTEC • IDEMA/the industry • Board of Investment

OTHER DOCUMENTS:

SUMMARY.DOC	Report on the Workshop and initial follow-up activities
WSHOPDF.DOC:	Workshop outline and speaker profiles
LISTPAR.DOC:	Participation list
PRESS2.DOC:	Press release
WS-PRESS.DOC:	HDD workshop news in the Nation on July 14, 1999
UCSD.DOC:	Information Storage Industry Center, U.C., San Diego
BRKJUN99.DOC:	Brooker Group Company profile

LETTERS

สวัสดีค่ะ

วารสารวิชาการเนคเทค (NECTEC Technical Journal) ได้ออกสู่สายตาของท่านมาฉบับนี้เป็นฉบับที่ 4 แล้ว ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากนักวิจัยในสาขาอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และไอที ในการส่งบทความในรูปแบบสรุปเนื้อหาวิชาการของเทคโนโลยีใหม่ๆ (Tutorial) บทความเชิงวิจัยทั้งแบบยาวและแบบสั้น และรูปแบบจดหมาย เข้ามาร่วมพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร ในฐานะบรรณาธิการรู้สึกดีใจเป็นอย่างยิ่ง ที่มีนักวิจัยในประเทศไทยจำนวนมากที่ทำงานวิจัยและจัดทำบทความเพื่อเผยแพร่ความรู้ที่ค้นพบสู่สาธารณชน และสำหรับส่วน LETTERS นี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเวทีสำหรับให้นักวิจัยได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นในแง่มุมต่างๆ อาจเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารแล้ว หรือเป็นเรื่องใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมอยู่ก็ได้ จึงใคร่ขอเรียนเชิญนักวิจัยทุกท่านได้ใช้เวทีนี้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อสร้างสรรค์องค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อประเทศไทยของเราต่อไป ขอขอบคุณ

ดร. จุพารัตน์ ตันประเสริฐ
บรรณาธิการ

ศาสตร์ของแสงกับการพัฒนาบุคลากรในทศวรรษหน้า

บุคลากรที่พึงประสงค์ในการพัฒนาประเทศในทศวรรษหน้านั้นต้องเป็น ***คนเก่งที่มีคุณธรรม สมรรถะ และเรียบง่าย*** จึงจะสามารถนำให้ประเทศเราอยู่รอดได้ในยุคแห่งโลกเสรีหรือโลภาภิวัฒน์ที่ยิ่งนับวันยิ่งมีการแข่งขันสูงขึ้นเรื่อยๆ แทบจะทุกวินาทีก็ว่าได้ ตัวอย่างหนึ่งซึ่งได้ถูกละเลยกันมาเกือบครึ่งศตวรรษแล้ว นั่นก็คือการวางรากฐานการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาขาวิชาฟิสิกส์ กล่าวคือเราเคยส่งคนไปเรียนต่อต่างประเทศจำนวนมากเมื่อ 30 ปีที่แล้ว มาวันนี้ก็ยังนิยมส่งคนไปเรียนมากอยู่เช่นเดิม เราควรหันมาเรียนต่อชั้นสูงกันในประเทศให้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะได้มีมหาวิทยาลัยหลายแห่งที่ได้ทำการเปิดสอนในระดับปริญญาเอกด้านฟิสิกส์และจะมีเพิ่มขึ้นอีกในอนาคตอันใกล้นี้ มหาวิทยาลัยที่มีการเรียนการสอนในระดับปริญญาเอกด้านฟิสิกส์แล้วก็คือ

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดยแต่ละแห่งสามารถรับนักศึกษาได้ปีละ 5-10 คน และมีความชำนาญต่างๆ กัน บทความนี้จะขอแนะนำสำหรับท่านที่สนใจด้านแสงซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ออพติกส์ (Optics) หรือทัศนศาสตร์ นับเป็นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ที่รู้จักกันมานาน อย่างไรก็ตามในอดีตนั้นวิชานี้มีผู้สนใจน้อยมาก และยังบรรจุไว้เป็นแค่วิชาเลือกในสาขาวิชาฟิสิกส์เท่านั้น แม้แต่ด้านสื่อสารซึ่งต้องใช้สื่อสารใยแก้วนั้นก็มิได้บรรจุวิชาออพติกส์ไว้ในหลักสูตรแต่อย่างใด และยิ่งเป็นวิชาความไม่เป็นเชิงเส้นของแสงด้วยแล้วแทบจะหาผู้รู้ไม่ได้เลย ในปัจจุบันนี้ถ้าจะกล่าวไปแล้วออพติกส์นั้นกลายเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ชีวิตประจำวันไปแล้ว นับตั้งแต่ความรู้เรื่องแสงเบื้องต้นไปจนถึงความรู้ชั้นสูงและการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นวิชาแสงจะไม่จำกัดอยู่เฉพาะนักฟิสิกส์อีกแล้ว นั่นคือ แม้แต่นักเคมี ชีววิทยา วิศวกร และแพทย์ ต่างก็จำเป็นต้องศึกษาหาความรู้ฟิสิกส์ของแสงกันทั้งนั้น ในส่วนต่อไปจะขอกล่าวถึงรากฐาน ความสำคัญ และความสัมพันธ์ของ

วิชาออพติกส์กับวิชาอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากกับการศึกษาศาสตร์ของแสง

วิชาที่สำคัญวิชาหนึ่งก็คือ วิชาแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics) และก็ยังมีวิชาควอนตัม (Quantum) และคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสานความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติจนสามารถทำให้เข้าใจ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติได้อย่างลึกซึ้ง และยังมีศาสตร์ของแสงอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องศึกษาอีกดังนี้คือ

ชนิดของปรากฏการณ์	**สาขาความรู้**
แสงซึ่งเป็นรังสี	Geometrical Optics
แสงที่เป็นคลื่น	Physical Optics
คลื่นและอนุภาค	Quantum Physics
สถานะการเกิดเลเซอร์ (Squeezed State)	Quantum Optics
การปลดปล่อยเลเซอร์	Laser Optics
การจัดการกับเลเซอร์	Quantum Electronics
ความไม่เป็นเชิงเส้นของแสง	Nonlinear Optics
การประยุกต์ด้านแสง	Applied Optics
ด้านเครื่องมือวัด	Optical Metrology
ด้านการแพทย์	Medical Optics
ด้านอุตสาหกรรม	Optical Industry
ด้านสื่อสาร	Optical Communication
ด้านคอมพิวเตอร์	Optical Computer
ด้านอุปกรณ์	Optical Devices
ด้านการถ่ายภาพ	Holography
ด้านใยแก้วนำแสง	Fiber Optics

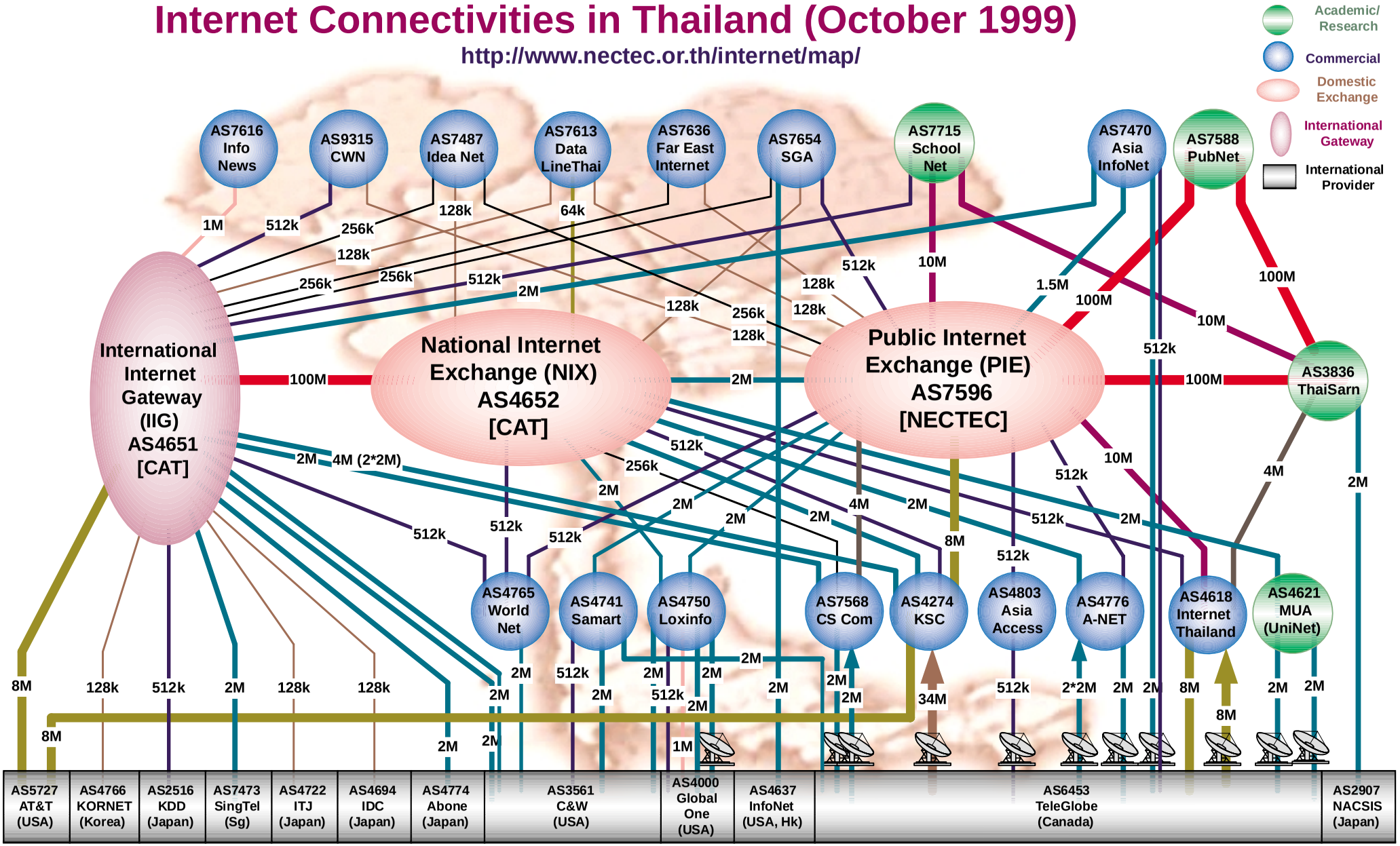
ดังจะเห็นได้ว่าเราต้องการบุคลากรมากมายเพื่อมารองรับกับวิทยาการสาขาต่าง ๆ ทางด้านแสง ซึ่งนับได้ว่าเป็นวิชาหลักวิชาหนึ่งในการสร้างบุคลากรเพื่อพัฒนาประเทศเพื่อให้ประเทศเราได้มีการพัฒนาที่มั่นคงและยั่งยืนต่อไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพัฒนาบุคลากรโดยการเริ่มตั้งแต่ระดับพื้นฐานไปจนถึงการวิจัยระดับสูงกันอย่างจริงจังเสียที

สำหรับผมก็ได้ทำศึกษา หาความรู้ และทำวิจัยทางด้านแสง โดยเฉพาะด้านใยแก้วนำแสงมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง และยังได้มีโอกาศสอนวิชาและตั้งแต่ระดับมัธยมจนถึงปริญญาเอกจึงพบเห็นจุดบกพร่องที่แล้ว ๆ มา อยู่จำนวนมาก จึงมีความตั้งใจในการที่จะหาโอกาสพัฒนาความรู้ทางด้านแสงของไทยให้ดีขึ้นให้ได้ โดยมุ่งเน้นการเผยแพร่ความรู้ในทุก ๆ ระดับไปจนถึงระดับประชาชนทั่วไป โดยหวังว่าคงจะมีแหล่งทุนสนับสนุนเพื่อให้ความตั้งใจของผมนั้นสำเร็จได้ไม่ช้าก็เร็ว และยังมุ่งหวังที่จะทำให้ศาสตร์ของแสงของไทยนั้นเข้าไปสู่ระดับสากลให้จงได้ตลอดเวลาการทำงานที่เหลืออยู่ของผมอยู่นี้ และสุดท้ายหวังว่าเราคงมีวารสารสากลทางด้านแสงซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ในระดับนานาชาติในอนาคตอันใกล้นี้

รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีคลื่นและแสง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

Internet Connectivities in Thailand (October 1999)

http://www.nectec.or.th/internet/map/



DISCLAIMER

Chart Date: 1999-10-01

This chart is designed, maintained and copyrighted by Vasinee Manasrangsi, Angkana Angkalukkana and Thaweesak Koanantakool NTL, NECTEC. All rights reserved. The information contained in this chart is based on actual measurements and estimation. We welcome update information, but reserve the rights to verify the accuracy of the given information. Please contact us at **netadmin@ntl.nectec.or.th**. For authoritative information please contact Communications Authority of Thailand.

ไทยสาร ThaiSarn