Cover Story

จันทร์จิรา สินทนะโยธิน,
วิศรุต พลสิทธิ์

Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

เทคโนโลยีที่น่าจับตามองในปีใหม่ที่จะมาถึงนี้ ผู้เขียนจะขออนุญาตเน้นเฉพาะเทคโนโลยีด้าน Image processing หรือการประมวลผลภาพ และคอมพิวเตอร์กราฟิกโดยเฉพาะนะคะ เพราะเป็นเรื่องที่อยู่ในความสนใจค่ะ พอได้รับมอบหมายให้มาเขียนบทความนี้ แบบว่าจะนั่งเทียนเขียนขึ้นมาเอง ก็คงกระไรอยู่ ก็เลยใช้เวลาเป็นวันในการหาข้อมูลของเทคโนโลยีทางด้านการประมวลภาพ และคอมพิวเตอร์กราฟิก ที่คาดว่าจะมาแรงๆ เพื่อมานำเสนอให้ผู้อ่านได้อ่านกันนะค่ะ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้มาอาจจะมีการต่อเติมเสริมแต่ง ตามความคิดของผู้เขียนด้วยส่วนหนึ่ง แม้จะไม่ได้มาแรงในปีหน้าแต่ก็น่าจะมีแนวโน้มที่จะมีการพัฒนาใช้จริงในอนาคตอันใกล้ หรือบางเรื่องก็ได้มีการพัฒนามาแล้วในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังคงความน่าสนใจกันอยู่มาก

ข้อมูลจาก ChangeWaves Blog ของ Social Technologies [1] ได้จัดลำดับของนวัตกรรมทางเทคโนโลยีดีเด่น 12 สาขาที่จะเกิดขึ้นภายในปี 2025 ผู้เขียนจึงขอหยิบยกสาขาที่คิดว่าน่าสนใจ และน่าจะเกิดขึ้นได้อนาคตอันใกล้ ได้แก่ เรื่องของ ระบบตรวจสอบความปลอดภัยและตรวจจับการเคลื่อนที่ (Security and tracking) โดยอาศัยระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture System)

ระบบตรวจสอบความปลอดภัยและตรวจจับการเคลื่อนที่ (Security and tracking): ถึงแม้ว่าจะมีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านให้น้ำหนักของเทคโนโลยีทางด้านความปลอดภัยและป้องกันการก่อการร้าย น้อยกว่าผลิตภัณฑ์หรือบริการที่สามารถไปสู่มือผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม ความต้องการในระบบความปลอดภัยและเทคโนโลยีการตรวจจับการเคลื่อนที่ ก็ยังคงมีอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ทางด้านนี้ได้ ได้แก่ ระบบกล้องวงจรปิด ที่มีขั้นตอนวิธีตรวจจับการเคลื่อนที่จากลักษณะท่าทางของบุคคลที่อยู่ในกล้องอย่างอัตโนมัติเช่น วิธีตรวจจับการเคลื่อนที่วัตถุหลากชิ้น อันมีพื้นฐานจากการตรวจจับการเคลื่อนที่วัตถุบนภาพเคลื่อนไหวด้วยวิธี Hidden Makov [2] และได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง[3] จนเป็นเทคนิคที่ชื่อว่า Approximate Bayesian [4] โดยมีการปรับกลไกให้ทำงานได้เร็วขึ้นด้วยวิธี Matching Key Points [5] เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณและ ทำให้ระบบเรียนรู้เกี่ยวกับวัตถุที่ตรวจจับ หรือ Strong Prior Knowledge เพื่อจับลักษณะการก้าวเดินของมนุษย์เป็นต้น [6] ซึ่งขณะนี้ได้มีการจดสิทธิบัตรวิธีจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยจับการเคลื่อนไหวพร้อมทิศทางและการพูด ด้วยวิธี Bayesian เมื่อเดือนเมษายน 2008 แล้ว [7]

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture System)

ที่มาภาพ: http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2007/03 motion_tracking.html [8]

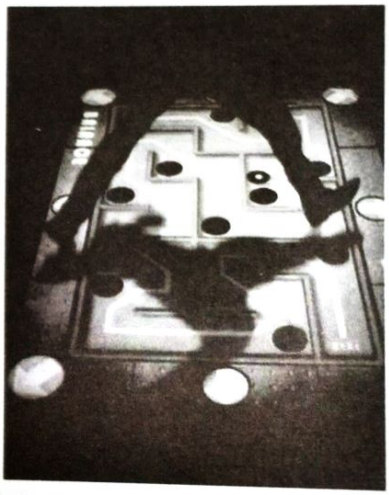
ที่มาภาพ: http://livedocs.adobe.com/en_US/AfterEffects/8.0/WS3878526689cb91655866c1103906c6dea-7c5d.html [9]

นอกจากนี้ บริษัท Microsoft Corp. ได้จดทะเบียนสิทธิบัตรกระบวนการประมวลผลภาพใบหน้าเพื่อช่วยในการจับการเคลื่อนไหวให้กล้องเพื่อใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยเมื่อ เดือนตุลาคม 2008 นี่เอง [10] ในขณะที่ บริษัท Sony Corp. ประเทศญี่ปุ่นได้จดทะเบียนสิทธิบัตร กล้องถ่ายภาพวีดิโอที่สามารถจับภาพการเคลื่อนไหวและใบหน้าได้ เมื่อ 19 กุมภาพันธ์ 2008 [11] และได้วางตลาดออกมาเป็นกล้อง Sony Handy cam รุ่น HDR-CX12 โดยโฆษณาว่า เป็นกล้องถ่ายภาพวีดิโอรุ่นแรกของโลกที่ใช้เทคโนโลยี Smile Shutter และ Face Detection ขณะนี้มีวางขาย Sony Handy cam รุ่น HDR-CX12 ที่เมืองไทยแล้วด้วย [12] นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์เทคนิคการตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์อีกด้วย โดยการตรวจจับการเคลื่อนที่ของผู้เล่นว่ามีท่าทางอย่างไรอีกด้วย [13][14]

นอกจากนี้ยังมีการเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุหลายๆ อย่างในเวลาเดียวกัน (Multiple objects tracking) อาทิเช่นตรวจจับรถแต่ละคันบนท้องถนน หรือแม้แต่กลุ่มคนที่มีกิจกรรมใดๆ ในช่วงเวลาใด เวลาหนึ่งร่วมกัน ตลอดจน การใช้กล้องหลายๆ ตัวมาผสมผสานในการตรวจจับวัตถุเป็นต้น (Multiple cameras, multiple objects tracking)

Sony Handy cam รุ่น HDR-CX12

ที่มาภาพ: news.sel.sony.com/en/press_room/consumer/digital_imaging/camcorders/high_definition/release/35580.html [12]



ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture System) ในเกมคอมพิวเตอร์

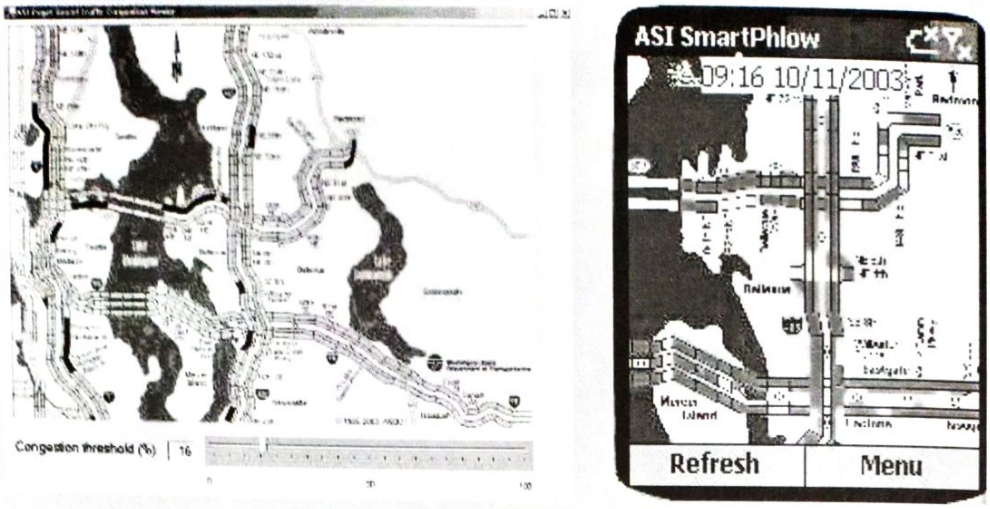
ที่มาภาพ: www.rmh.de/products [13] challenge.visualessence.nl/C514241107/E20051111112549/index.html [14]

เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุหลายๆ อย่างในเวลาเดียวกัน (Multiple objects tracking)
ที่มาภาพ: research.microsoft.com/workshops/WOMOT01/[15], www.montefiore.ulg.ac.be/~piater/papers/Gabriel-2003-ACIVS.pdf[16]

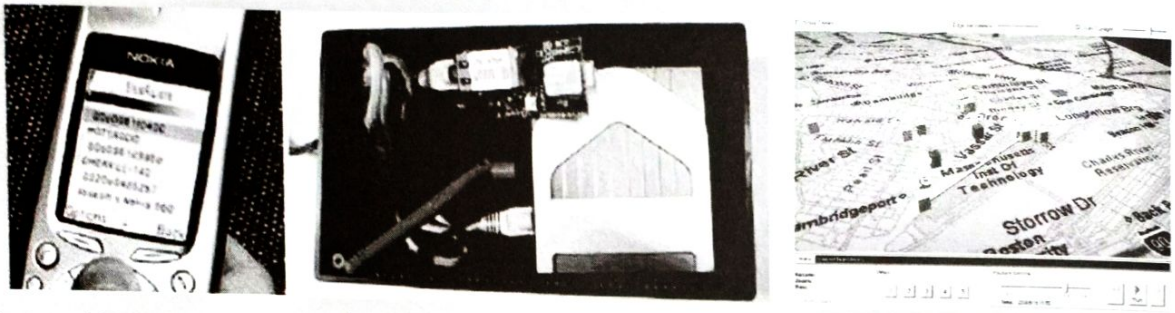
นอกจากนี้ Technology Review published by MIT ได้นำเสนอเทคโนโลยี 10 รายการ ที่จะเปลี่ยนแปลงการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในปี 2008 ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือเทคโนโลยี Modeling Surprise ซึ่งผู้เขียนคิดว่าน่าสนใจ แต่คงต้องใช้เวลาในการพัฒนาไปอีกชักระยะ กว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ได้จริง

เทคโนโลยี Modeling Surprise: [17] ชีวิตในปัจจุบันส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับการคาดการณ์ล่วงหน้า อาทิเช่น เฮอริเคนลูกต่อไปจะไปกระทบฝั่งที่ไหน ตลาดหุ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของราคาอย่างไร ใครจะชนะเลือกตั้งครั้งต่อไป ขณะที่แบบจำลองของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันค่อนข้างจะทำนายหลายๆ เหตุการณ์ได้ค่อนข้างถูกต้องในระดับหนึ่ง แต่ความไม่แน่ใจของผู้คนยังคงมี และไม่สามารถขจัดออกไปได้ แต่ Mr. Eric Horvitz หัวหน้ากลุ่ม Adaptive Systems and Interactive Group ของไมโครซอฟท์ คิดว่า สามารถที่จะจัดการความแคลงใจนั้นให้ลดลงได้ ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า "Surprise Modeling" ซึ่งมีรากฐานจาก Reality Mining อันเป็นเทคโนโลยี Data Mining ขั้นสูง (Advanced Data Mining Technology) ซึ่ง Reality Mining จะศึกษาข้อมูล จากความสามารถในการเคลื่อนไหว และการดำเนินชีวิตของมนุษย์ (Human Mobility & Human Patterns of Life) [18] ซึ่งในขณะนี้จะเน้นที่โทรศัพท์มือ ทำให้ Reality Mining มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เทคโนโลยีเหมืองข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ (Data mining on Mobile Phones) [19] โดยข้อแตกต่างระหว่าง Modeling Surprise และ Reality Mining คือ Modeling Surprise จะเน้นการตรวจจับหาสิ่งที่ผิดปกติ (Anomaly Detection) เช่นการตรวจจับการฉ้อโกงเครดิตการ์ด (Credit Card Fraud) การก่อการร้ายโดยใช้อาวุธเชื้อโรค (Bioterriorism) และการเกิดจราจรติดขัดในเส้นทางที่ปกติ ไม่ควรที่จะเกิดการติดขัด เป็นต้น ขณะที่ Reality Mining จะเน้นการประมวลผลข้อมูลจากสถานการณ์จริง [20]

ขณะนี้ได้มีการนำ Modeling Surprise ไปใช้ในระบบคาดการณ์จราจร SmartPhlow [21] ในนครซีแอตเติล ที่สามารถแสดงบนจอโทรศัพท์มือถือหลังจากที่ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี 2003 อย่างต่อเนื่อง จนสามารถวางตลาดเพื่อขาย License ได้เมื่อต้นปี 2005 ขณะนี้ Microsoft Corp. ได้จดทะเบียนสิทธิบัตรระบบคาดการณ์จราจร SmartPhlow อยู่แต่กำลังรอผลการรับรองสิทธิบัตร [22] นอกจากนี้ Microsoft Corp. ยังมีระบบทำนายการจราจร JamBayes [23] ที่ขาย License ให้ Inrix เมื่อ 2005 และ ZoneZoom ซึ่งพัฒนาต่อจาก SmartPhlow ระบบทั้งสามล้วนใช้ Modeling Surprise Technology เป็นหัวใจของระบบ



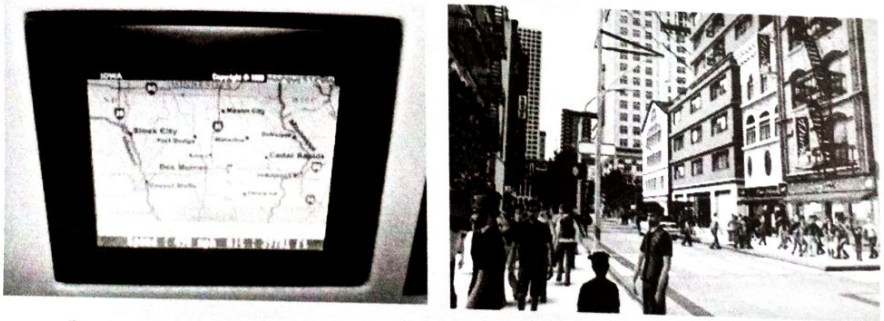
ระบบ Smart Phlow ที่ Mr. Eric Horvitzและ Daniel C. Robbinsแห่ง Microsoft Inc. ได้คิดขึ้นมา [21]



ตัวอย่างการใช้เทคโนโลยี Reality Mining เพื่อทำนายสภาพการจราจรล่วงหน้าผ่านโทรศัพท์มือถือ [24]

เพื่อให้ ระบบ Reality Mining และ Modeling Surprise ซึ่งเป็นการคัดกรองและหาความรู้จากข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากสถานการณ์จริง ให้ได้ข้อมูลเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับความต้องการ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการใช้ขั้นตอนวิธีเพื่อวิเคราะห์มูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ด้วยขั้นตอนวิธี Opportunistic Forwarding ที่คิดขึ้นเมื่อปี 2007 [25] และเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการเรียนรู้พร้อมประมวลผล และเพิ่มความถูกต้องในทำนายผล ก่อนที่จะนำเทคโนโลยี Modeling Surprise ไปพัฒนาต่อเพื่อทำนายในสิ่งที่คาดไม่ถึงว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เกิดขึ้นได้แก่ ราคาซื้อขายบ้านในตลาดระดับต่างๆ ดัชนีราคาหุ้น อัตราแลกเปลี่ยน หรือแม้แต่แนวโน้มธุรกิจเพื่อช่วยให้บริษัทสามารถปรับตัวให้แข่งขันได้ทันเวลาก่อนการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ ที่มีผลทำให้ธุรกิจนั้นต้องล้มหายตายจากไป [25]

นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีนี้เพื่อสร้างภาพเสมือนจริงให้นักท่องเที่ยวได้ชมก่อนเดินทางไปเยือนนครที่จะไปเยือนดังตัวอย่างต่อไปนี้ซึ่งช่วยให้นักท่องเที่ยวได้ข้อมูลการท่องเที่ยวล่วงหน้าเหมือนกับว่าได้ไปอยู่ในสถานที่จริงโดยใช้ เทคโนโลยี Modeling Surprise เป็นตัวช่วยนำข้อมูลมาประมวลเป็นภาพ ก่อนเดินทางไปถึงที่จริงๆ [26]

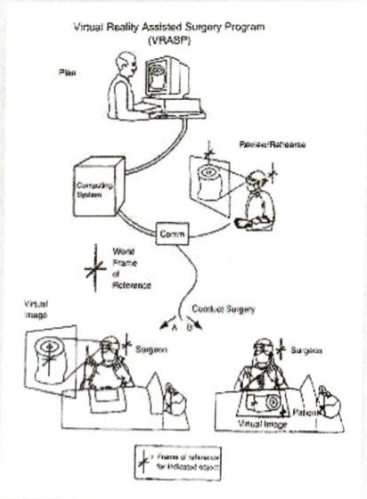


เทคโนโลยี Modeling Surprise เป็นตัวช่วยนำข้อมูลมาประมวลเป็นภาพ ก่อนเดินทางไปถึงที่จริงๆ http://smart-city.re-configure.org/ [26]

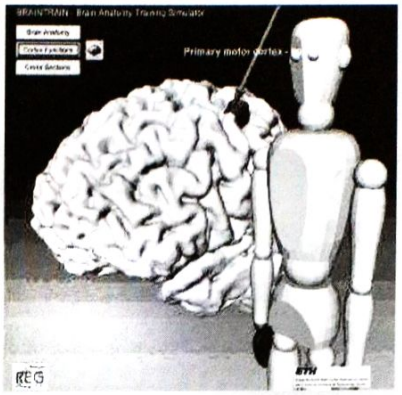
เทคโนโลยีอีกรายการหนึ่งที่แนะนำโดยนิตยสาร Times [27] ได้แก่ เทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality [VR] หรือ Augmented Reality [AR]) ซึ่งในที่นี้จะพูดถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพเสมือนจริงในงานการแพทย์

เทคโนโลยีภาพเสมือนจริงทางการแพทย์ (Medical Application of Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR)):

ถึงแม้ว่า เทคโนโลยีภาพเสมือนจริงจะได้มีการนำมาใช้ทางการแพทย์นับตั้งแต่การวางแผนผ่าตัดเสมือนจริงเมื่อต้นปี 1996 [28] และ การเรียบเรียงหลักการประยุกต์ใช้ ภาพเสมือนจริง ทางการแพทย์ เมื่อปี 1997 [29] อาทิเช่น การส่องกล้องดูลำไส้ใหญ่เชิงโต้ตอบตั้งแต่ปี 1999 [30] แต่การพัฒนาเทคโนโลยีภาพเสมือนจริง โดยเพิ่มตัวต่อประสานระบบสัมผัสภาพ 3 มิติเพื่อเพิ่มความสมจริง (Realistic Sense) ในการรักษาโดยอาศัยการสร้างแรงปฏิกิริยาที่สะท้อนกลับ (Haptic Forces) ไปหาเครื่องมือที่ใช้เมื่อเครื่องมือที่ใช้สัมผัสกับพื้นที่เป้าหมาย เมื่อ ปี 2007 [31] เป็นการอำนวยความสะดวกให้นักศึกษาแพทย์ได้ใช้เครื่องมือรักษา หรือผ่าตัดผู้ป่วยได้โดยไม่จำเป็นต้องทดลองกับคนไข้จริงซึ่งเสี่ยงต่อความผิดพลาดที่มีอันตรายถึงชีวิตต่อผู้ป่วยได้

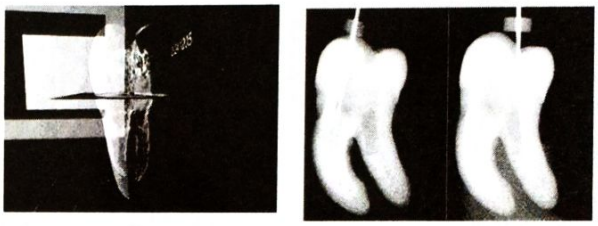


ระบบการช่วยการผ่าตัดแบบเสมือนจริงที่คิดขึ้นเมื่อ ปี 1996 [29]



ระบบสำหรับการผ่าตัดสมอง 3 มิติแบบเสมือนจริงปี 2007 [31]

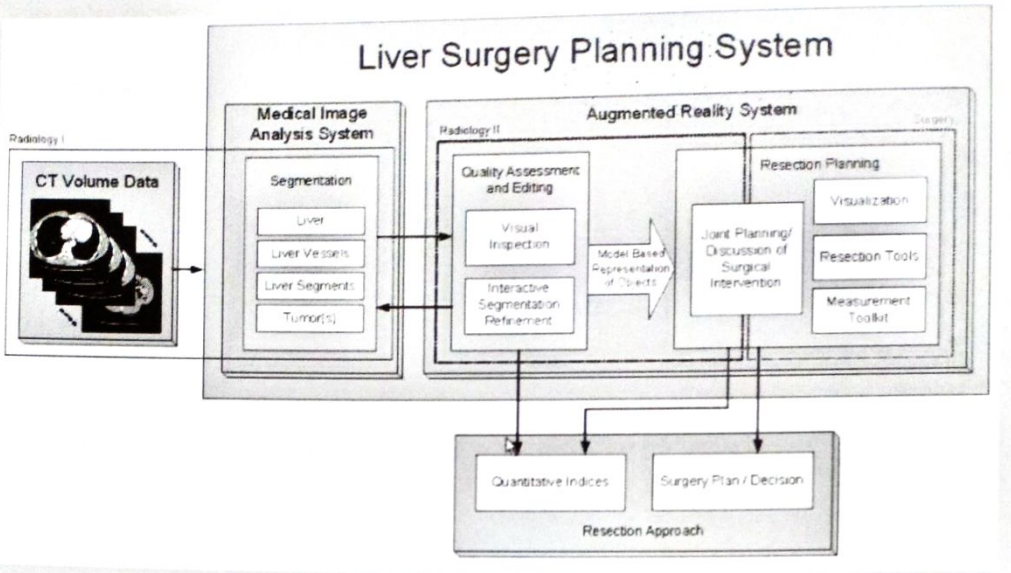
ล่าสุดได้มีนำไปใช้ในการวัดความยาวคลองประสาทรากฟันแบบ 3 มิติ ซึ่งปกติจะวัดระยะเช่นนั้นให้แม่นยำให้ครบทั้งสามแนวทำได้ได้ยากเมื่อปี 2008 [32]



การวัดระยะความยาวคลองประสาท รากฟันแบบเสมือนจริง เมื่อเทียบกับการวัดที่ใช้กันทั่วไป เมื่อปี 2008 [32]

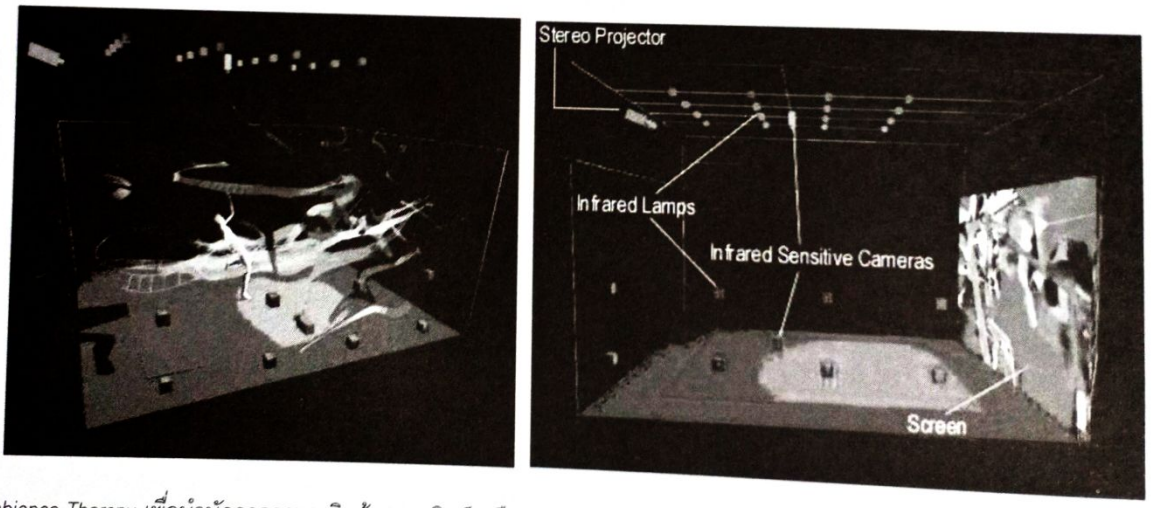
ขณะนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีภาพเสมือนจริงจำลองการผ่าตัดได้สมจริงคือระบบ ARI*SER [33] เพื่อการผ่าตัดเสมือนจริงซึ่งทางมหาวิทยาลัยแพทยศาสตร์ Ganz ได้แปลงให้เป็นระบบจำลองการผ่าตัดตับเสมือนจริง (Liver Surgery Planning System) [34] เนื่องจากการผ่าตัดตับเป็นงานผ่าตัดที่ยากมาก ต้องมีความชำนาญเฉพาะทางจึงสำเร็จ [35]

*ระบบการผ่าตัดเสมือนจริง ARI*SER ขณะจำลองการผ่าตัดตับ โดยดัดแปลงให้เป็นระบบ LSPS (Liver Surgery Planning system) [35]*



โครงสร้างระบบ LSPS (Liver Surgery Planning system) [34]

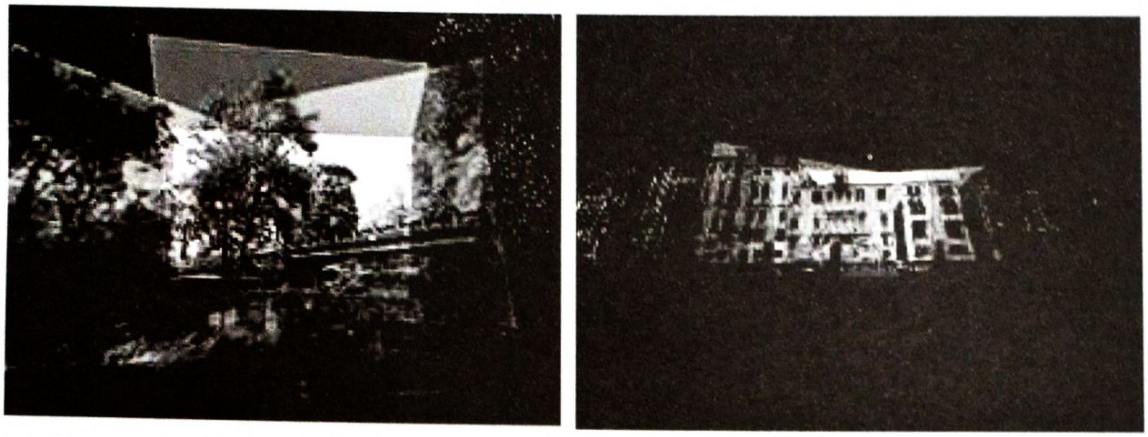
นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคโนโลยีภาพเสมือนจริงบำบัดทางจิต (Virtual Therapy - VT) [36] ให้แก่เด็กที่โดนทำร้ายทางเพศด้วยงานศิลป์ (Art Therapy) เนื่องจากเด็กที่โดนทำร้ายทางเพศจะมีอาการถอนตัวออกจากสังคม (Social withdrawal) เพราะไม่กล้าออกไปไหนเพื่อเข้าสังคม เช่นระบบ Smart Ambience Therapy ที่ คิดโดย Dr. Horace Ho Shing Ip [37] แห่ง AIM Tech Centre, City University of Hong Kong เมื่อปี 2004 ซึ่งใช้การขยับเขยื้อนร่างกายของผู้ป่วยสร้างภาพเสมือนจริงออกมาเหมือนการใช้พู่กันวาดภาพ (Body-Brush) [38] หลังจากที่ได้มีการทดลองเกี่ยวกับการใช้ภาพเสมือนจริงในการรักษาผู้ป่วยที่มีอาการโรคกลัวการบินในปี 2002 [39]



Smart Ambience Therapy เพื่อบำบัดอาการทางจิตด้วยงานศิลป์เสมือนจริง [40]

ขณะนี้ที่ต่างประเทศมีการประยุกต์ใช้ภาพเสมือนจริงเพื่อการรักษาผู้ป่วยทางจิตโดยมีการคิดค่ารักษาหลังจากที่ได้มีการรับรองให้ใช้ภาพเสมือนจริง รักษาผู้ป่วยทางจิตได้ เช่นกรณี http://www.cybertherapy.info/ เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีการทดลองเกี่ยวกับเทคโนโลยีภาพเสมือนจริงเพื่อช่วยในการนำทางเมื่อปี 2007 ซึ่งได้ผลออกมาว่าเทคโนโลยีภาพเสมือนจริงช่วยในการนำทางให้คนออกจากเขาวงกต ได้เร็วกว่า การให้คนหาทางออกจากเขาวงกตเอง [41] และอีกเทคโนโลยีที่จะน่าเป็นที่สนใจของคนทั่วไป เป็นการผสมผสานทั้งเทคโนโลยีเสมือนจริง และการประมวลผลภาพ ได้แก่ เทคโนโลยี Photo Synthesis [42] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำภาพในหลายๆ มุมมอง มาทำการหาตำแหน่งที่ตรงกัน หรือมีความคล้ายคลึงกันในแต่ละภาพ แล้วนำภาพที่สัมพันธ์กันมาคำนวณหาตำแหน่ง รูปร่าง การวางตัวที่เหมาะสม แล้วนำมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติ โดยสามารถที่จะมองได้ในรูปแบบ 3 มิติ ในทุกทิศทางตามที่มีภาพอยู่ ท่านผู้อ่านอาจจะสงสัยว่าเป็นอย่างไร ทั้งนี้สามารถดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ PhotoSynth หรือดู DEMO ได้ที่ http://photosynth.net



เทคโนโลยี Photo Synthesis โดยการนำภาพถ่ายหลายมุมมองมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติ [42]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้เขียนจึงเชื่อว่า ปีหน้าฟ้าใหม่ เทคโนโลยี 3 หัวข้อดังกล่าว จะเป็นที่น่าจับตามองทั้งในและต่างประเทศทีเดียวค่ะ แล้วท่านผู้อ่านล่ะค่ะ คิดเห็นว่าอย่างไร สำหรับนักเรียน นักศึกษา อาจารย์ และนักวิจัย จะลองหาหัวข้อวิจัยทางด้านนี้ ก็น่าสนใจไม่เลวทีเดียวนะค่ะ สำหรับบทความนี้ หากข้อมูลที่ได้มาและข้อคิดเห็นที่เพิ่มเติมเข้าไปมีข้อผิดพลาดประการใด ก็ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วยนะค่ะ และพบกันอีกทีปีหน้าค่ะ

เอกสารอ้างอิง

1. Denise Chiavetta, Top 12 Areas for Technology Innovation through 2025, Changer Waves, November 20, 2007, available online at changewaves.socialtechnologies.com/home/2007/11/20/top-12-areas-for-technology-innovation-through-2025.html

2. Brand, M. and Kettnaker, V.Discovery and segmentation of activities in video, IEEE Trans. PAMI, Vol. 22, No.8, Aug. 2000 Page(s):844 - 851, DOI:10.1109/34.868685

3. Stenger, B. et. al, Model-based hand tracking using a hierarchical Bayesian filter, IEEE Trans. PAMI, Vol. 28, No.9, Sept. 2006 Page(s): 1372 - 1384, DOI: 10.1109/TPAMI.2006.189

4. Lanz, O., Approximate Bayesian multibody tracking, IEEE Trans. PAMI, Vol. 28, No.9, Sept. 2006 Page(s): 1436 - 1449, DOI: 10.1109/TPAMI.2006.177

5. Lepetit, V. and Fua, P.Keypoint recognition using randomized trees, IEEE Trans. PAMI, Vol. 28, No.9, Sept. 2006 Page(s): 1465 - 1479, DOI: 10.1109/TPAMI.2006.188

6. Ziheng Zhou et. al., A Bayesian Framework for Extracting Human Gait Using Strong Prior Knowledge, IEEE Trans. PAMI, Vol. 28, No. 11, Nov. 2006 Page(s): 1738 - 1752, DOI: 10.1109/TPAMI.2006.214

7. Ben-arie, Jezekiel, Method of recognition of human motion, vector sequences and speech, United States Patent No. 7366645, 29 Apr. 2008.

8. Motion Tracking - Sci-Fi Meets Real World Technology, The Daily Galaxy, March 26, 2007, available online at www.dailygalaxy.com/my_weblog/2007/03/motion_tracking.html

9. Adobe Systems Inc., Motion tracking / Motion tracking overview: About motion tracking, available online at livedocs.adobe.com/en_US/AfterEffects/8.0/WS3878526689cb91655866c1103906c6dea-7c5d.html

10. Microsoft Corp., Facial image processing, United States Patent No. 7433807, 7 Oct. 2008.

11. Sony Corp., Mobile motion capture cameras, United States Patent No. 7333113, 19 Feb. 2008.

12. Sony Corp., Sony Introduces The World's First Camcorder with Smile Shutter Technology, June 18, 2008, available online at news.sel.sony.com/en/press_room/consumer/digital_imaging/camcorders/high_definition/release/35580.html

13. [rmh] new media GMBH, 3d football - an interactive soccer game as a floor projection, available online at www.rmh.de/products

14. Motion Tracking Games on Your Computer, The Challenge, November 11, 2005, available online at challenge.visualessence.nl/C514241107/E20051111112549/index.html

15. Microsoft Corp., 2001 IEEE Workshop on Multi-Object Tracking, July 8, 2001, Vancouver, BC, Canada, available online at research.microsoft.com/workshops/WOMOT01/

16. Pierre F. Gabriel et. al., The State of the Art in Multiple Object Tracking Under Occlusion in Video Sequences, Proceedings of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems 2003 (ACIVS2003) , 2-5 September 2003, pp. 166-173, 2003, available online at www.montefiore.ulg.ac.be/~piater/papers/Gabriel-2003-ACIVS.pdf

17. M. Mitchell Waldrop, Modeling Surprise, MIT Technology Review, March-April 2008, available online at technologyreview.com/read_article.aspx?ch=specialsections&sc=emerging08&id=20243

18. Jedd Thurston, Modeling Surprise - Modeling Land Use?, Vector One, February 20, 2008 available online at vector1media.com/vectorone/?p=327

19. Guru Kirthigavasan, What your cellphone knows about you - Reality Mining, The Business Intelligence Blog, 23 May 2008, available online at www.thebiblog.com/archives/2008/05/what-your-cellphone-knows-about-you-reality-mining.html

20. Guru Kirthigavasan, Reality Mining and Surprise Modeling - Future Tech, The Business Intelligence Blog, 21 February 2008, available online at www.thebiblog.com/archives/2008/02/reality-mining-and-surprise-modeling.html

21. Daniel C. Robbins, SmartPhlow, available online at research.microsoft.com/~dcr/work/zonezoom/smartphlow.htm

22. Microsoft Corp., Traffic prediction in wireless communication networks, US Patent Application 20070230378, 4 Oct. 2007

23. E. Horvitz, et. al., Prediction, Expectation, and Surprise: Methods, Designs, and Study of a Deployed Traffic Forecasting Service, The 21st, Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, UAI-2005, Edinburgh, Scotland, July 2005, available online at research.microsoft.com/~horvitz/horvitz_traffic_uai2005.pdf

24. N. Eagle and A. Pentland, Reality Mining: Sensing Complex Social Systems, Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 10, No.4, March 2006, Page(s):255-268, DOI: 10.1109/4233.594047

25. Chaintreau, Augustin et. al., Impact of Human Mobility on Opportunistic Forwarding Algorithms, IEEE Trans. Mob. Comp., Vol. 6, No. 6, Jun. 2007 Page(s):606 - 620, DOI: 10.1109/TMC.2007.1060

26. Jason Liszkiewicz, Producing Communities of Communications & Foreknowledge: Citizens Empowered to Contribute to the Forms & Functions of the Urban Motherboard Through Social Software, available online at smart-city.re-configure.org/

27. Kate Wighton, The latest trend in medicine - virtual reality, The Times, May 17, 2008, available online at www.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/health/article3945251.ece

28. R.A. Robb, VR Assisted Surgery Planning, IEEE Eng. in Med. Bio. Mag., Vol. 15, No. 2, Mar/Apr 1996, page(s): 60-69, DOI: 10.1109/51.486720.

29. Haubner, M. et. al., Virtual reality in medicine-computer graphics and interaction techniques, IEEE Trans. Info. Tech. Biomed., Vol.1, No. 1, Mar. 1997, Pages(s):61-72, DOI: 10.1109/TITB.2006.884359

30. Tong-Yee Lee, et. al, Interactive 3-D Virtual Colonoscopy System, IEEE Trans., Info. Tech. Biomed., Vol. 3, No.2, June 1999, Pages(s):139-150, DOI: 10.1109/4233.767089

31. Panchaphongsaphak, B. et. al, Three-Dimensional Touch Interface for Medical Education, IEEE Trans. Info. Tech. Biomed., Vol.11, No. 3, May 2007, Pages(s):251-263, DOI: 10.1109/TITB.2006.884359

32. Germans, D.M. et. al., Measuring in Virtual Reality: A Case Study in Dentistry, IEEE Trans. Instru. Measure., Vol. 57, No.6, June 2008, page(s): 1177-1184, DOI: 10.1109/TIM.2008.915952

33. ARIS * ER NET: Augmented Reality in Surgery, available online at www.ariser.info/about/index.php

34. Liver Surgery Planning system, available online at www.icg.tugraz.at/research/interdisciplinary/liverplanner/

35. Liver Surgery Planning system overview, available online at www.icg.tugraz.at/research/interdisciplinary/liverplanner/summary

36. Media, Interface and Network Design Labs (M.I.N.D. Labs), Virtual Therapy (VT), available online at www.mindlab.org/cgi-bin/projects.pl?id=23

37. Adriane Quinlan, Innovators: Horace Ho-Shing Ip, Time Magazine Oct. 22, 2007, available online at www.time.com/time/specials/2007/innovators/article/0,28804,1614837_1671120_1671117,00.html

38. Smart Ambiance Therapy, available online at aimtech.cityu.edu.hk/sat/intro.htm

39. Banos, R.M., et. al., Virtual reality treatment of flying phobia, IEEE Trans. Info. Tech. Biomed., Vol.6 No.3, Sept. 2002 Page(s):206 - 212, DOI: 10.1109/TITB.2002.802380

40. Body Brush, Body Baton: Generating Virtual 3D panting and Music through Body Motion, available online at aimtech.cityu.edu.hk/bodybrush/

41. Goldiez, B.F., et. al., Effects of Augmented Reality Display Settings on Human Wayfinding Performance, IEEE Trans. Sys. Man. & Cyber., Part C:. App. & Rev., Vol. 37 No.5, Sept. 2007, DOI: 10.1109/TSMCC.2007.900665

42. Photo synthesis by Microsoft Live Lab. Available online at : http://photosynth.net/