



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิทยาการคอมพิวเตอร์

วิทยาการคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง กระบวนการในการวิเคราะห์โมเดลการใช้พลังงานของเครื่องเสมือนในการประมวลผล  
กลุ่มเมฆ

Methodology for Analyzing Power Model of Virtual Machines in Cloud Computing

นามผู้วิจัย นายสาริต ชินประเสริฐสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์เสกฐวิทย์ เกิดผล, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริกร จันทร์นวล, M.Sc. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

กระบวนการในการวิเคราะห์โมเดลการใช้พลังงานของเครื่องเสมือนในการประมวลผลกลุ่มเมฆ

Methodology for Analyzing Power Model of Virtual Machines in Cloud Computing

โดย

นายสาธิต จินประเสริฐสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาธิต ชินประเสริฐสุข 2557: กระบวนการในการวิเคราะห์โมเดลการใช้พลังงานของ  
เครื่องเสมือนในการประมวลผลกลุ่มเมฆ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการ  
คอมพิวเตอร์) สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เสกฐวิทย์ เกิดผล, Ph.D. 71 หน้า

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการคิดโมเดลการใช้พลังงานของเครื่อง virtual  
machine ในประเภทที่แตกต่างกัน โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้งานของ utilization  
ของ virtual machine และจำนวนของ virtual machine บนโฮสต์ ซึ่งโมเดลนี้สามารถประมาณค่า  
การใช้พลังงานของ virtual machine ในสถานะต่างๆได้ตามแต่ละประเภทการใช้งานและงานวิจัย  
นี้จะสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของโฮสต์เมื่อมีการทำงานของ virtual machine หลากหลาย  
ประเภทที่แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลจะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม  
จำนวนของเครื่อง virtual machine บนโฮสต์จะทำให้การใช้พลังงานของโฮสต์เพิ่มสูงขึ้นแบบไม่  
เป็นเส้นตรง

---

ลายมือชื่อนิสิต

---

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Satit Chinprasertsuk 2014: Methodology for Analyzing Power Model of Virtual Machines in Cloud Computing. Master of Science (Computer Science), Major Field: Computer Science, Department of Computer Science. Thesis Advisor: Mr. Sethavidh Gertphol, Ph.D. 71 pages.

Cloud computing has potentials to reduce energy consumption cost for the providers by intelligently allocating virtual machines to energy efficient servers. This paper proposes a new method to create an energy model that describes a direct relationship between resource utilization in the VM and the energy consumption by the host. With the model it is possible to estimate how much energy a server will consume if it accommodates a specific number of VMs, each with a specific resource utilization. This work also investigated the power consumption of a server when different combinations of VMs with different utilization are running on it. The result shows that the energy consumption varies non-linearly with the number of VMs allocated on that host.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.เสฏฐวิทย์ เกิดผล ประชานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำขั้นตอนวิธีในการดำเนินงาน ชี้แนะแนวทาง แก้ไขปัญหาและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุวรรณ ชินประเสริฐสุขและคุณแม่ภานีย์ ชินประเสริฐสุขที่ ให้กำลังใจในการเรียน ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลืออย่างที่สุดมาโดยตลอดจนสำเร็จ การศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์และผศ.ดร. สุขุมล กิติสิน ที่ช่วยให้ ข้อมูล ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงคำแนะนำในการนำเสนอ ผลงานวิจัยแบบปากเปล่าในการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ได้สนับสนุนด้านอุปกรณ์ ด้านเงินทุนนำเสนองานในต่างประเทศ และสถานที่ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆปริญญาโททุกคนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลืออำนวยความสะดวก ในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สาริต ชินประเสริฐสุข  
กรกฎาคม 2557

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	36
ผล	36
วิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	51
สรุป	51
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์	55
ภาคผนวก ข ผลการทดลองการวัดค่าพลังงานของเครื่องเสมือนบน โฮสต์	63
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	71

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางแสดงผลการวัดประสิทธิภาพของ Network โดยเปรียบเทียบระหว่าง Netperf และ MPAC	22
2 สรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3 สรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
4 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU utilization	36
5 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network utilization	40
6 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท hybrid utilization	45
<b>ตารางผนวกที่</b>	
ข1 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่อง	64
ข2 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่อง	64
ข3 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่อง	65
ข4 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 4 เครื่อง	65
ข5 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 เครื่อง	66
ข6 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 2 เครื่อง	66
ข7 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 3 เครื่อง	67
ข8 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 4 เครื่อง	68
ข9 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่องและประเภท network จำนวน 1 เครื่อง	68
ข10 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่องและประเภท network จำนวน 2 เครื่อง	69
ข11 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่องและประเภท network จำนวน 3 เครื่อง	70

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 Web ของ Amazon EC2 Cloud provider ชั้นนำของโลก	2
2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานของโฮสต์เทียบจาก SPEC	3
3 ตัวอย่างของประเภท instance virtual machine ของ cloud จาก Amazon EC2	4
4 โมเดลของผู้ให้บริการ cloud computing	8
5 แผนภาพแสดงรูปแบบการใช้งานของ cloud computing ซึ่งแบ่งตามการใช้งาน	11
6 ภาพรวมการทำงานบน cloud computing	13
7 Scatter diagram แสดงความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้น	15
8 ภาพแสดงสถิติการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ทั่วไป	16
9 ภาพแสดงสถิติการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ Full virtualization using binary translation	17
10 ภาพแสดงสถิติการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ OS assisted virtualization or paravirtualization	18
11 ภาพแสดงสถิติการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ Hardware assisted virtualization	19
12 โครงสร้างการทำงานของ MPAC Benchmark	20
13 แสดง Pseudo code ของการวัดประสิทธิภาพ CPU	21
14 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์และพลังงานที่ถูกใช้	24
15 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด	24
16 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบเทียบระหว่าง CPU Utilization และ Disk Utilization	25
17 กราฟแสดงพลังงานที่ใช้เทียบต่อการประมวลผล 1 โปรแกรม	26
18 พลังงานที่ใช้ใน data center โดยคิดจาก switch และ server	27
19 ตัวอย่างการใช้คำสั่งเพื่อทดสอบ Network utilization ในฝั่ง server	32
20 ตัวอย่างการใช้คำสั่งเพื่อทดสอบ Network utilization ในฝั่ง client	32
21 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine ประเภท CPU	33
22 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine ประเภท Network	34
23 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine แบบ Hybrid	35

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่อง	37
25	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่อง	37
26	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่อง	38
27	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 4 เครื่อง	38
28	กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine	39
29	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 เครื่อง	41
30	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 2 เครื่อง	42
31	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 3 เครื่อง	42
32	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 4 เครื่อง	43
33	กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine	44
34	กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine	44
35	แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 3 เครื่องและ Network 1 เครื่อง	46
36	แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 2 เครื่องและ Network 2 เครื่อง	47
37	แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 1 เครื่องและ Network 3 เครื่อง	47
38	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท Hybrid จำนวน 3 เครื่อง และ 4 เครื่อง	48
39	แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 ถึง 4 เครื่อง	50

# กระบวนการในการวิเคราะห์โมเดลการใช้พลังงานของเครื่องเสมือนในการประมวลผล กลุ่มเมฆ

## Methodology for Analyzing Power Model of Virtual Machines in Cloud

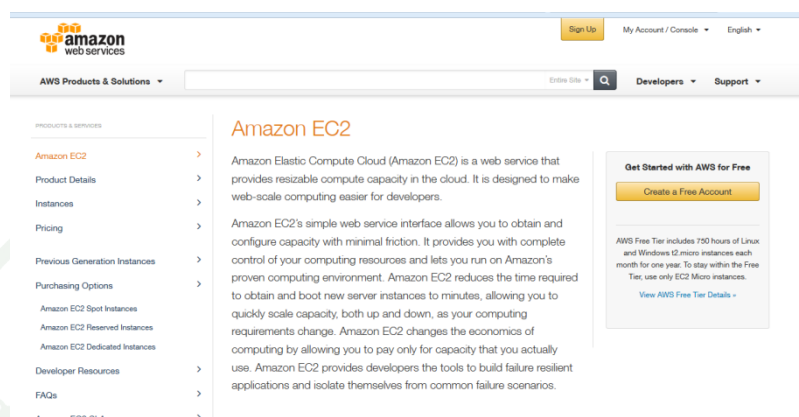
### Computing

#### คำนำ

Cloud computing (การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ) คือ เทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งสำหรับการใช้งานทรัพยากรของระบบในรูปแบบของบริการ (Services) เช่น เครือข่ายเน็ตเวิร์ค (Network) เครื่องแม่ข่าย (Server) อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Storage) โปรแกรม (Application) และการให้บริการ (Services) ซึ่งสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและดูแลควบคุมได้ง่าย [http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing) (2012) โดยผู้ใช้บริการสามารถใช้งานได้สะดวกเพียงแต่มีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นโครงสร้างพื้นฐานก็สามารถเข้าถึงบริการเหล่านี้ได้ การใช้งานบริการต่างๆบน cloud computing เช่น การใช้บริการของ Gmail, Hotmail, Facebook เป็นต้น

เทคโนโลยี cloud computing เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจมากกว่าเทคโนโลยีหนึ่งในปัจจุบันและผู้ที่เริ่มได้ลองทดสอบระบบ cloud computing กันแล้ว เช่น Amazon EC2, Digital Ocean หรือ Google App แต่ในระดับองค์กรหรือบริษัทใหญ่ๆก็จะมีระบบ cloud computing เป็นของตนเองเช่น TrueCorp, IBM หรือ CP โดยแต่ละบริษัทก็นำ private cloud (คลาวด์ส่วนบุคคล) มาใช้งานเพื่อขยายขีดความสามารถของธุรกิจของตน ซึ่งในแต่ละองค์กรนั้นการจะทำการระบบ cloud computing ให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในเรื่องของอุปกรณ์ hardware , software ค่าใช้จ่ายในด้าน maintenance รวมทั้งการย้ายงานจากระบบเก่าขึ้น cloud computing ก็มีผลกระทบกับงานค่อนข้างมาก ซึ่งในหลายๆบริษัทก็มีการคิดวิเคราะห์ถึงความเสี่ยงและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนระบบ ซึ่งถ้าเป็น public cloud (คลาวด์สาธารณะ) ก็ดูจะเป็นทางเลือกที่ดีของบริษัทขนาดกลางและเล็กเพราะนอกจากจะไม่ต้องดูแลระบบ hardware และ software เองแล้ว ค่าใช้จ่ายที่ใช่ก็เป็นค่าใช้จ่ายแบบจ่ายตามการใช้งานจริงๆหรือ pay per use ซึ่งระบบ cloud computing ที่เป็น public cloud ทำให้ถึงมีจำนวนผู้ให้บริการให้เลือกไม่มากอีกทั้งราคา

ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือในผู้ให้บริการยังมีน้อยหรือยังขาดมาตรฐานกลางในการควบคุมให้เทคโนโลยีนี้ไปในแนวทางเดียวกัน



ภาพที่ 1 Web ของ Amazon EC2 Cloud provider ชั้นนำของโลก

ปัจจัยที่ทำให้ผู้ให้บริการ cloud computing มีเพียงไม่กี่รายก็คงหนีไม่พ้นต้นทุนและค่าใช้จ่ายจำนวนมากในแต่ละเดือน ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะต้องนำมาคิดเป็นค่าบริการในการเข้ามาใช้ระบบ cloud computing โดยปัจจัยสำคัญของต้นทุนที่จะขาดไม่ได้ในแต่ละเดือนของผู้ให้บริการคือเรื่องพลังงานที่ใช้ใน data center ซึ่งในปัจจุบันมีเทคนิคต่างๆมากมายในการลดค่าใช้จ่ายส่วนนี้ เช่น การจัดสรรเครื่อง virtual machine ไปยังโฮสต์ (Host) ที่มีการใช้งานอยู่แล้วแต่ยังมีทรัพยากรในการประมวลผลเพียงพอสำหรับ virtual machine เครื่องนี้ เพื่อให้โฮสต์มีการทำงานที่น้อยที่สุด ซึ่งโดยปกติแล้วเราสามารถวัดค่าการใช้พลังงานของโฮสต์ได้จากการวัดค่าการใช้ทรัพยากรของโฮสต์ทางกายภาพ (Barroso and Hölzle, 2007) ซึ่งการใช้พลังงานของโฮสต์ก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งานทรัพยากรของเครื่องโฮสต์นั้นๆ การจะได้มาซึ่งพลังงานที่ถูกใช้ไปของโฮสต์นอกจากจะทำการวัดค่าพลังงานโดยตรงจากเครื่องโฮสต์แล้วก็ยังมีวิธีการใช้งานทรัพยากรของเครื่องมาเทียบกับข้อมูลที่ทาง Standard Performance and Evaluation Corporation (SPEC) ได้มีการทดลองและวัดค่าไว้โดยกำหนดรุ่นของเครื่องโฮสต์ ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ไปนำมาเปรียบเทียบกันก็จะได้พลังงานที่ใช้ไปจริงๆของเครื่องโฮสต์นั้นๆ ดังภาพที่ 2



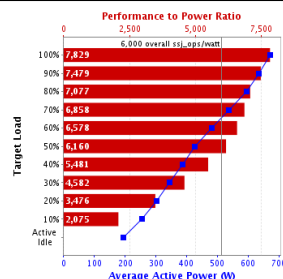
## SPECpower\_ssj2008

Copyright © 2007-2013 Standard Performance Evaluation Corporation

Dell Inc. PowerEdge C5220 (Intel Xeon E3-1265LV2)		SPECpower_ssj2008 = 6,000 overall ssj_ops/watt	
Test Sponsor:	Dell Inc.	SPEC License #:	55
Tested By:	Dell Inc.	Test Location:	Round Rock, TX, USA
Hardware Availability:	Jan-2013	Software Availability:	Jun-2012
System Source:	Single Supplier	System Designation:	Server
		Test Method:	Multi Node
		Test Date:	Mar 15, 2013
		Publication:	Apr 19, 2013
		Power Provisioning:	Line-powered

## Benchmark Results Summary

Performance			Power		Performance to Power Ratio
Target Load	Actual Load	ssj_ops	Average Active Power (W)		
100%	99.7%	5,258,070	672	7,829	
90%	90.0%	4,747,282	635	7,479	
80%	80.1%	4,222,757	597	7,077	
70%	70.0%	3,694,317	539	6,858	
60%	60.0%	3,164,924	481	6,578	
50%	49.8%	2,627,505	427	6,160	
40%	40.1%	2,114,034	386	5,481	
30%	30.0%	1,582,847	345	4,582	
20%	20.0%	1,054,616	303	3,476	
10%	10.0%	527,234	254	2,075	
	Active Idle	0	194	0	
			$\Sigma$ ssj_ops / $\Sigma$ power =	6,000	



## ภาพที่ 2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานของโฮสต์เทียบจาก SPEC

แต่เนื่องจากการทำงานบน cloud computing ในแต่ละ โฮสต์มีความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับการทำงานของ virtual machine จำนวนมากซึ่งในแต่ละ virtual machine มีการทำงานและมีการใช้งานทรัพยากรที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ในการทำงานของ virtual machine 1 งาน หากนำไปทำงานบน host A จะสามารถทำงานเสร็จภายในระยะเวลา 10 วินาที โดยมี CPU utilization 50% แต่หากนำไปทำงานบน host B หากจะต้องทำงานเดียวกันให้เสร็จภายในระยะเวลา 10 วินาที อาจจะต้องใช้ CPU utilization 70% เพื่อให้งานเสร็จตามข้อตกลงของผู้ให้บริการ (Beloglazov and Buyya, 2011) จึงเป็นปัจจัยที่ยากต่อการนำมาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของโฮสต์ได้โดยตรง อีกทั้งการใช้งานในทรัพยากรประมวลผลที่มากก็อาจจะไม่ต่างกับการใช้ทรัพยากรเครื่องที่อยู่ในระดับต่างๆ ไป ดังนั้นการที่ผู้ให้บริการสามารถรู้ถึงขนาดการใช้พลังงานของ virtual machine ในประเภทต่างๆบนการใช้งานทรัพยากรที่มี workload ที่หลากหลายก็จะเป็นข้อมูลสำหรับการคิดหาวิธีการที่จะช่วยประหยัดพลังงานของ โฮสต์ รวมถึงการที่จะคิดต้นทุนของบริการในแต่ละชนิดของโฮสต์ เพื่อให้ผู้ใช้งานและผู้ให้บริการสามารถใช้งานระบบ cloud computing ได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาสมเหตุสมผล

	vCPU	ECU	Memory (GiB)	Instance Storage (GB)	Windows Usage
<b>General Purpose - Current Generation</b>					
t2.micro	1	Variable	1	EBS Only	\$0.018 per Hour
t2.small	1	Variable	2	EBS Only	\$0.036 per Hour
t2.medium	2	Variable	4	EBS Only	\$0.072 per Hour
m3.medium	1	3	3.75	1 x 4 SSD	\$0.133 per Hour
m3.large	2	6.5	7.5	1 x 32 SSD	\$0.266 per Hour

### ภาพที่ 3 ตัวอย่างของประเภท instance virtual machine ของ cloud จาก Amazon EC2

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวความคิดในการทดลองและสร้างโมเดลการใช้พลังงานของ virtual machine บน cloud computing โดยอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ทรัพยากรของ virtual machine และพลังงานที่ใช้บนเครื่องโฮสต์ ซึ่งโมเดลนี้สามารถประมาณค่าการใช้พลังงานของเครื่อง virtual machine โดยวัดจากทรัพยากรของโฮสต์ที่ถูกใช้ไปใน virtual machine ซึ่งหากเราสามารถสร้างโมเดลการใช้พลังงานของ virtual machine ได้การคำนวณค่าการใช้พลังงานของระบบก็จะเป็นเรื่องที่สามารถประเมินค่าได้อีกทั้งยังสามารถนำมาวิเคราะห์ราคาที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานได้อีกด้วย

## วัตถุประสงค์

1. วัดการใช้พลังงานของกลุ่มเซิร์ฟเวอร์ที่มีการประมวลผลกลุ่มเมฆโดยคำนึงถึงประเภทการทำงานของระบบ เช่น หน่วยประมวลผล ระบบเครือข่าย เป็นต้น
2. สามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาวิเคราะห์และสร้างโมเดลการใช้พลังงานของเซิร์ฟเวอร์หรือโฮสต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานที่ใช้จากปริมาณงานที่นำเข้าและประเภทของงาน
3. สามารถเลือกทรัพยากรที่มีอยู่และจัดสรรได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้บริการ ให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานน้อยที่สุด
4. เป็นการนำเสนอแนวคิดแบบใหม่เพื่อว่าอาจมีประโยชน์แก่นักวิจัยหรือผู้ที่สนใจซึ่งสามารถนำไปประยุกต์หรือปรับใช้ได้

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างโมเดลการใช้พลังงานของระบบ cloud computing โดยวัดจากจำนวน virtual machine และประเภทของงานที่ใช้ในแต่ละ virtual machine ซึ่งจะส่งผลให้สามารถประเมินค่าการใช้พลังงานได้จากโมเดลที่คำนวณได้จากการทดลองจริงและสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานของระบบโดยรวมได้

## ขอบเขตและข้อจำกัด

จากการทดลองวัดค่าพลังงานของระบบ การใช้พลังงานของระบบโดยรวมจะขึ้นอยู่กับการทำงานของ CPU กับระบบเน็ตเวิร์คเป็นหลัก ส่วนระบบด้านการเก็บข้อมูลนั้นทำได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของเครื่องที่นำมาทดลองไม่สามารถรองรับการทำงานในระบบขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการทำงานของเครื่องเก็บข้อมูลจำนวนมากๆ ได้ และการทดลองในครั้งนี้มีจำนวนทรัพยากรที่จำกัด ดังนั้นการสร้างต้นแบบการทดลองอาจจะมีข้อจำกัดในด้านปริมาณ

## การตรวจเอกสาร

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ความหมาย

Cloud computing คือ โมเดลที่จำลองการใช้งานระบบหรือทรัพยากรคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่สามารถใช้งานได้สะดวกตามความต้องการของผู้ใช้ โดยผ่านเครือข่ายเน็ตเวิร์ค ซึ่งทรัพยากรที่ต้องการนี้สามารถจัดเตรียมได้อย่างรวดเร็วมีการจัดการที่เข้าใจง่าย (Mell and Grance, 2011)

#### 2. แนวความคิด

เทคโนโลยี cloud computing มีแนวความคิดการทำงานมาจากกลุ่มของเทคโนโลยีเพื่อการประมวลผล โดยมีแนวความคิดจากเทคโนโลยีดังนี้

2.1 Grid Computing (การประมวลผลแบบ Grid) เป็นรูปแบบของเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกระจาย คำว่า Grid หมายถึง “เครือข่ายที่เชื่อมโยงและกระจายทรัพยากรให้กัน” ซึ่งในที่นี้ grid computing คือเครือข่ายของทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกันหมดและกระจายทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ให้กัน ไม่ว่าจะเป็นสมรรถนะในด้านการประมวลผล ความจุ หรือสมรรถนะในการถ่ายโอนข้อมูล มาสร้างระบบที่ใช้แก้ปัญหาการตัดสินใจ โดยมีการกระจายภาระการประมวลผลไปยังเครื่องต่างๆ ที่เชื่อมกันอยู่เป็นเครือข่ายเหมาะกับการประมวลผลงานที่มีขนาดใหญ่แนวคิดของ grid computing และ cloud computing ได้ถูกเผยแพร่และเป็นที่รู้จักในเวลาไล่เลี่ยกัน ซึ่งแนวคิดของ grid computing ได้ถูกคิดขึ้นมาก่อน ถ้าหากไม่มี grid computing แนวคิดของ cloud computing คงไม่เกิดขึ้น รูปแบบการทำงานของ cloud computing เหมือน grid computing ทุกประการ หรือพูดอีกอย่างว่า cloud computing ก็คือ grid computing ซึ่งถูกมองเป็นรูปแบบเสมือนทำงานอยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันโดยที่ผู้ใช้งานอยู่ในขณะนั้นไม่สามารถทราบได้เลยว่าข้อมูลที่ได้มานั้นมาจากผู้ให้บริการคนใด แต่สิ่งที่ทำให้ grid computing และ cloud computing แตกต่างกันคือรูปแบบการให้บริการและการเข้าใช้งานของผู้ใช้

2.2 Utility computing เป็นหลักการแชร์ทรัพยากรที่คล้ายกับ grid computing เพียงแต่ทรัพยากรจะถูกมองเสมือนว่าเป็นบริการสาธารณูปโภค โดยบริการเหล่านี้ผู้ใช้งานจะเสียค่าใช้จ่ายเพื่อใช้งานได้ตามที่ต้องการ และจ่ายตามจำนวนหรือช่วงเวลาที่ใช้งานจริงหลักการนี้เองที่ทำให้ cloud computing มองการใช้งานบริการอยู่ในรูปของสาธารณะและการเสียค่าใช้จ่ายตามที่ใช้งาน (pay per use) คือใช้เท่าไรก็จ่ายตามที่ใช้งาน

2.3 Autonomic computing คือ ระบบประมวลผลการทำงานของคอมพิวเตอร์จะสามารถแก้ไขตัวเองโดยอัตโนมัติ ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท IBM เมื่อปี ค.ศ. 2001 โดยระบบต้องมี 8 สิ่งสำคัญคือ

2.3.1 ต้องสามารถบำรุงรักษาตนเองได้อย่างครอบคลุมและมีการเก็บความรู้เฉพาะเกี่ยวกับส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ

2.3.2 ต้องมีความสามารถในการตั้งค่าตัวเองให้เหมาะสมและหลากหลายตามเงื่อนไขที่คาดการณ์ไม่ได้ที่อาจจะเกิดขึ้น

2.3.3 ต้องติดตามตัวเองสำหรับการทำงานที่ดีที่สุดอย่างสม่ำเสมอ

2.3.4 ต้องรักษาแก้ไขปัญหาได้ด้วยตัวเองและสามารถค้นหาทางเลือกในการแก้ปัญหา

2.3.5 ต้องสามารถสืบค้นการคุกคามและป้องกันตัวเองจากผู้คุกคาม

2.3.6 ต้องสามารถปรับตัวตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อม

2.3.7 ต้องอยู่บนพื้นฐานมาตรฐานเปิดแทนที่เทคโนโลยีที่มีเจ้าของ

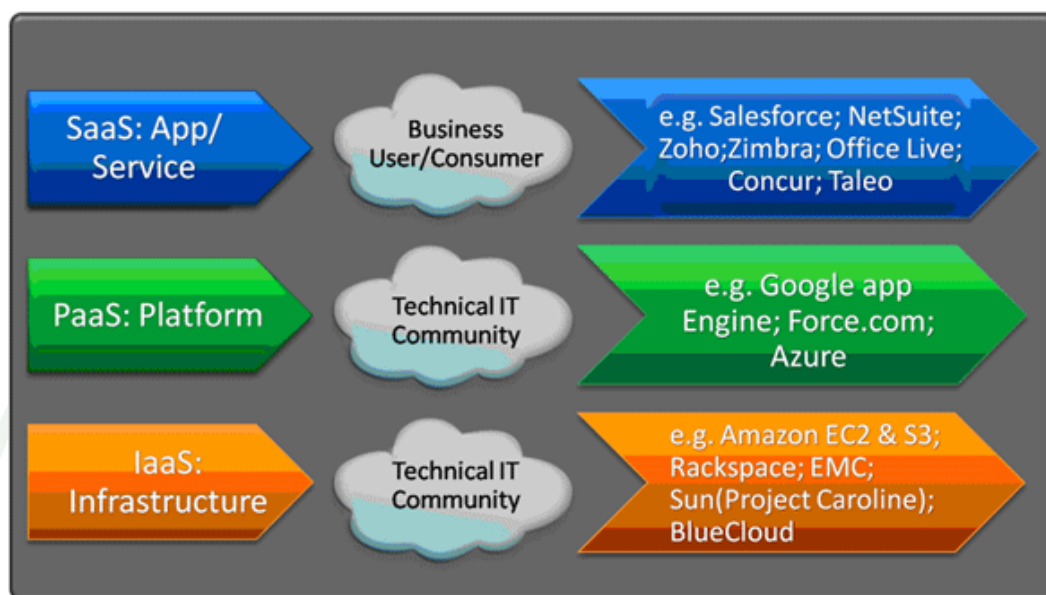
2.3.8 ต้องคาดการณ์ถึงความต้องการของผู้ใช้และทำให้เกิดความมั่นใจแก่ผู้ใช้งาน

ซึ่งตรงจุดนี้เองเป็นตัวบ่งบอกว่า cloud computing จะช่วยจัดสรรแบ่งทรัพยากรในระบบให้แก่ผู้ที่เข้ามาใช้บริการบน cloud computing ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งต้องมีทรัพยากรจำนวนมากเพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้บริการ

### 3. รูปแบบการให้บริการของ cloud computing (Service Model)

ผู้ให้บริการสารสนเทศจะแบ่งกลุ่มการให้บริการ cloud computing เป็น 3 กลุ่มคือ application, service และ infrastructure โดยแต่ละประเภทมีรูปแบบการให้บริการที่แตกต่างกัน ซึ่ง

ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะเลือกกลุ่มการให้บริการเป็นรูปแบบใดเพื่อให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายขององค์กรได้มากที่สุด



ภาพที่ 4 โมเดลของผู้ให้บริการ cloud computing

ที่มา: Shum (2012)

3.1 Software as a Service (SaaS) หรือ On Demand Software (ODS) เป็นความสามารถที่จัดสรรให้กับผู้ใช้งาน โดยผู้ให้บริการเป็นผู้ทำการจัดหา ติดตั้งและนำออกมาแจกจ่ายให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานได้บนระบบ cloud computing การใช้งาน โปรแกรมสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์ไคลเอนต์ต่าง ๆ ผ่านทางส่วนติดต่อของไคลเอนต์ เช่น เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) หรือโปรแกรมที่ทำมาเฉพาะ โปรแกรมเหล่านี้ไม่ถูกจัดเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้หรือคือไม่มีการใช้พื้นที่บนฮาร์ดดิสก์ ผู้ใช้งานจ่ายเพียงค่าบริการการเป็นสมาชิก หรือค่าบริการตามที่ใช้งานจริง (pay per usage) ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง รูปแบบของ SaaS ดีกว่าการซื้อซอฟต์แวร์ในรูปแบบเดิมคือลูกค้าจะได้รับบริการด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ดีที่สุดอยู่เสมอ โดยไม่ต้องลงทุนเองทั้งหมด เช่น ถ้าเป็นสมัยก่อนต้องซื้อซอฟต์แวร์ตัวนี้มาใช้งานในองค์กร และยังคงซื้ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ เช่น เครื่องเซิร์ฟเวอร์, ฮาร์ดดิสก์ รวมทั้งจ้างผู้ดูแลมาดูแลระบบ อีกทั้งยังมีค่าทำระบบสำรองข้อมูล ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการนำซอฟต์แวร์มาใช้ โดย SaaS ลูกค้าเพียงแต่จ่ายค่าบริการเป็นรายผู้ใช้งานเท่านั้น โดยทางผู้ให้บริการจะเป็นดูแลทางด้านฮาร์ดแวร์หรือระบบ

ผู้ดูแลให้เองทั้งหมดช่วยให้ลูกค้าสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายทางด้านซอฟต์แวร์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้สามารถคำนวณหรือวางแผนการดำเนินงานได้ดี เพราะ SaaS จะคิดค่าบริการเป็นอัตราที่แน่นอน ถ้าหากเทียบกับสมัยก่อน อาจต้องเสียค่า Support ค่อนข้างสูง (บางทีอาจสูงกว่าค่าใช้จ่ายตอนซื้อซอฟต์แวร์ในครั้งแรกด้วยซ้ำ) การอัปเดตซอฟต์แวร์ทำได้ง่ายและใช้ระยะเวลาสั้น ปัญหาที่พบในสมัยก่อนคือ การอัปเดตซอฟต์แวร์ทำได้ยุ่งยากและเสียเวลา เช่น ต้องการดาวน์โหลดซอฟต์แวร์และจัดการลงซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ หากมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานประมาณ 1,000 เครื่อง จะเสียเวลามากในการอัปเดต ตัวอย่างบริษัทที่ใช้รูปแบบ SaaS ให้บริการมีดังนี้

- 3.1.1 Salesforce ให้บริการ On demand CRM software ที่ใหญ่ที่สุดในโลก
- 3.1.2 Netsuite ให้บริการ ERP และ CRM software
- 3.1.3 Zimbra ให้บริการ Web based groupware ที่มีผู้ใช้บริการกว่า 8 ล้านคน

3.2 Platform as a Service (PaaS) เป็นแนวคิดที่ต่อเนื่องมาจาก SaaS เมื่อการใช้งานซอฟต์แวร์ โปรแกรมและแอปพลิเคชันไม่ถูกยึดติดอยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งไม่ว่าเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์, iPhone หรือ Android Phone ทำให้เกิดกลุ่มของภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานบนทุก ๆ แพลตฟอร์มได้ ซึ่งเสมือนเป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม การให้บริการ Platform เพื่อพัฒนาโปรแกรมเว็บแอปพลิเคชันและเว็บเซอร์วิส ผู้ใช้สามารถควบคุมการใช้งาน การติดตั้งและการตั้งค่าสำหรับโปรแกรมโดยให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของผู้ให้บริการ โดยองค์ประกอบของ PaaS ต้องประกอบด้วย

3.2.1 การพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน (Develop, Test, Deploy, Host and Maintain on the Same Integrated Environment) แม้ว่าแนวคิดของ cloud computing นั้นสามารถให้บริการการใช้งานได้ในทุกๆ แพลตฟอร์มแต่ในความเป็นจริงทางด้านเทคนิคแม้ว่าแอปพลิเคชัน โปรแกรมเป็น โปรแกรมเดียวกันก็ตาม แต่ด้วยสภาพแวดล้อมระบบปฏิบัติการ การแสดงผล ต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดแพลตฟอร์มของการใช้งานตามสภาพแวดล้อมด้วยเช่นกัน

3.2.2 เครื่องมือในการสร้างเว็บติดต่อกับผู้ใช้ (Web Based User Interface Creation Tools) นักพัฒนาโปรแกรมควรสามารถพัฒนาโปรแกรมได้โดยไม่ต้องเขียนโค้ดหลายหน้า เรียกใช้ไลบรารีและฟังก์ชันเยอะจนไม่สามารถหาได้ว่าฟังก์ชันที่ทำการเรียกมาจากที่ใด ซึ่ง Cloud

computing จะมีเครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สะดวกเหมือนกับการสร้างเว็บไซต์ในปัจจุบัน

3.2.3 สามารถใช้โปรแกรมได้พร้อมกัน (Multi-Tenant Architecture) ซึ่งต้องสามารถเรียกฟังก์ชันได้พร้อมกัน แม้กระทั่งการใช้ฐานข้อมูลเดียวกัน จะสามารถแก้ไขหรือปรับปรุงในเวลาเดียวกันได้

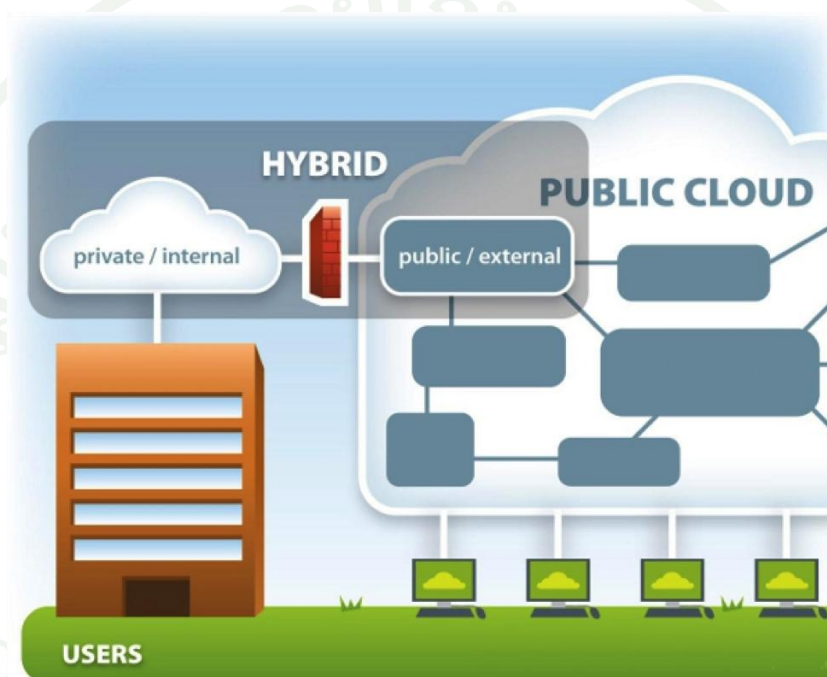
3.2.4 การรวมเข้าด้วยกันกับเว็บเซอร์วิสและฐานข้อมูล (Integration with Web Services and Databases) เนื่องจากรูปแบบโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันในปัจจุบันถูกออกแบบมาให้ทำงานในรูปแบบของเว็บเซอร์วิสเพื่อรองรับการใช้งานในอนาคตที่สามารถใช้งานจากที่แห่งใดก็ได้โดยไม่จำกัดการใช้งานภายใต้เครื่องคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว สำหรับส่วนของการพัฒนาโปรแกรม แหล่งที่มาหรือทรัพยากร (Resource) ต้องสามารถนำทรัพยากรเหล่านี้มาจากแหล่งที่มาได้หลายๆ ที่หรือคือได้มาจากหลายๆ ฐานข้อมูล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรวมเว็บเซอร์วิสและฐานข้อมูลเข้าด้วยกันในการให้บริการแก่ผู้ใช้

3.2.5 สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมร่วมกัน (Support for Development Team Collaboration) ด้วยแนวคิดของการเป็น PaaS ไม่ว่าจะเป็นการใช้ทรัพยากรร่วมกัน (Resource) ตั้งแต่ฐานข้อมูล เซิร์ฟเวอร์ แอปพลิเคชันโปรแกรม (SaaS) และสุดท้ายคือต้องสามารถพัฒนาโปรแกรมร่วมกันได้ ไม่ว่านักพัฒนาจะอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมใด ต้องสามารถทำงานในโครงการเดียวกัน แม้ว่าแต่ละคนมีหน้าที่ต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมเมอร์หรือนักออกแบบโปรแกรม (Designer Program) จะสามารถแบ่งงาน (Share) ทำได้ภายใต้โครงการเดียวกัน

3.3 Infrastructure as a Service (IaaS) ความสามารถที่ให้ผู้มีสิทธิ์ในการกำหนดประสิทธิภาพการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล เครือข่ายและข้อมูลอื่น ๆ ในการใช้คอมพิวเตอร์พื้นฐาน ผู้ใช้สามารถที่จะปรับแต่งและใช้ซอฟต์แวร์ได้อย่างไม่มีข้อจำกัด ซึ่งอาจรวมถึงการแก้ไขระบบปฏิบัติการและโปรแกรม ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องดูแลจัดการหรือควบคุมการทำงานของ Cloud ในระดับโครงสร้าง มีเพียงการควบคุมระบบปฏิบัติการ, การจัดเก็บข้อมูลและ โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ งาน แนวคิดการให้บริการนี้ผู้ใช้บริการไม่ต้องลงทุนในการซื้อเครื่องเซิร์ฟเวอร์ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลและอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานด้านเน็ตเวิร์กและความปลอดภัย เรียกว่าเป็นการเช่าใช้ ซึ่งผู้ที่รับผิดชอบในการบำรุงรักษาคือผู้ให้บริการ โดยที่ผู้ใช้บริการจะเสียค่าบริการอาจเป็นรายวัน รายเดือนหรือปี ทำให้ผู้ใช้บริการมีความคล่องตัวและมีอิสระในการเลือกใช้อินфраสตรักเจอร์และ platform ต่าง ๆ ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพราะทุกอย่างถูกมองเป็นการให้บริการทั้งสิ้น ผู้ที่ให้บริการในปัจจุบัน ได้แก่ Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) หรือ GoGrid

#### 4. รูปแบบการใช้งานของผู้ใช้ cloud computing

การแบ่งรูปแบบประเภทของ cloud computing โดยพิจารณาจากการนำ cloud computing มาให้บริการ ผู้ใช้บริการบน cloud computing สามารถเลือกรูปแบบการให้บริการหรือจัดกลุ่มของ cloud computing ขึ้นเองได้ ซึ่งรูปแบบของ cloud computing มีดังนี้



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงรูปแบบการใช้งานของ cloud computing ซึ่งแบ่งตามการใช้งาน

ที่มา: Shafiq (2013)

4.1 Public Clouds รูปแบบโครงสร้างที่เปิดให้ผู้ใช้งานสาธารณะ สามารถใช้ทรัพยากรที่ถูกจัดหามาให้ได้ ซึ่งโครงสร้างนี้อาจถูกจัดการ ดูแลและเป็นเจ้าของโดยหน่วยงานธุรกิจ หน่วยงานการศึกษา รัฐบาลหรือทั้งหมดดูแลร่วมกัน เช่น Amazon EC2, Microsoft 365 เป็นต้น

4.2 Private Clouds เป็นรูปแบบโครงสร้างที่ทรัพยากรที่ถูกจัดหามาถูกใช้เพียงองค์กรเดียว ซึ่งองค์กรนั้นอาจมีหลายหน่วยงาน โครงสร้างนี้ถูกจัดการและดูแลโดยองค์กร, หน่วยงานที่

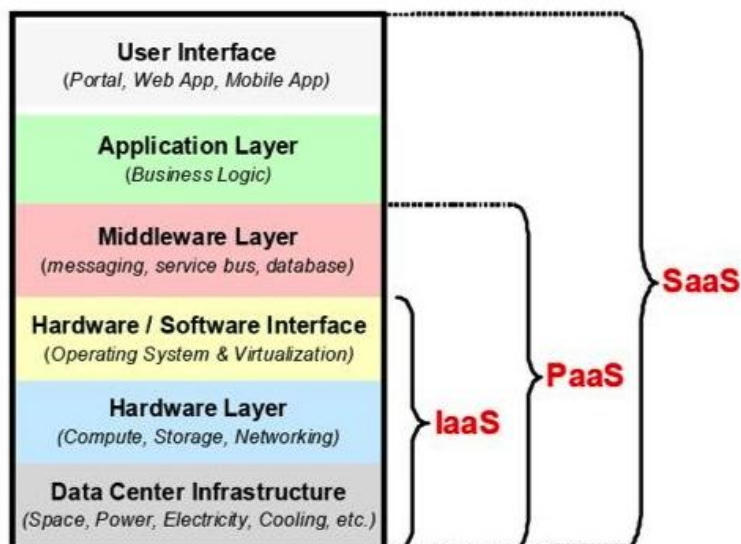
สามหรือของทั้งองค์กรและหน่วยงาน และอาจเปิดให้ภายนอกใช้งานด้วยหรือใช้เพียงแคภายใน เช่น cloud computing ของ CP หรือ TrueCorp

4.3 Hybrid Clouds รูปแบบโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากรูปแบบอื่น ซึ่งรูปแบบที่ประกอบขึ้นนั้นมาจากโครงสร้างแบบ Private, Community หรือ Public และไม่ซ้ำกัน แม้จะเรียกว่าประกอบร่วมกันแต่ยังคงความเป็นรูปแบบของตัวเองอยู่ ซึ่งการทำงานร่วมกันจะทำตามมาตรฐานที่ตกลงกันไว้หรือทำงานร่วมกันตามเทคโนโลยีที่เปิดให้ใช้ข้อมูลกับแอปพลิเคชัน

4.4 Community Clouds เป็นรูปแบบโครงสร้างที่ทรัพยากรที่ถูกจัดหามาถูกใช้กับกลุ่มองค์กรซึ่งมีความต้องการร่วมกัน เช่น ภารกิจ, ความต้องการของระบบความปลอดภัย, นโยบายและการตัดสินใจในทางเดียวกัน โครงสร้างนี้ถูกจัดการและดูแลโดยกลุ่มองค์กร อาจเป็นหนึ่งองค์กรหรือมากกว่าหนึ่งองค์กรในกลุ่มนั้นหรือ หน่วยงานที่สามหรือทั้งหมดดูแลร่วมกัน และอาจเปิดให้ภายนอกใช้งานหรือใช้เพียงแคภายใน

## 5. คุณสมบัติที่สำคัญของ cloud computing

ถ้าหากมองภาพรวมการใช้บริการบน cloud computing เมื่อผู้ใช้บริการเข้าใช้งานผ่านทางอินเทอร์เน็ตและไปยังเว็บไซต์ที่ต้องการใช้บริการ เมื่อมีการส่งคำร้องขอเพื่อประมวลผลข้อมูลหรือการขอใช้บริการประเภทต่างๆ ผ่านทางหน้าเว็บเบราว์เซอร์ จะมีเว็บเซิร์ฟเวอร์รับคำร้องขอเหล่านั้นและส่งคำร้องขอผ่านระบบ โครงข่ายเสมือน (Virtualization) กล่าวถึง virtualization เป็นการแยกการใช้บริการต่าง ๆ ออกจากบริบทของอุปกรณ์การ Hardware ที่ทำหน้าที่สนับสนุนบริการนั้น ยกตัวอย่างเช่น ในระบบ Windows มีการทำหน่วยความจำเสมือน (Virtual Memory) เนื่องจากหน่วยความจำมีขนาดจำกัดและช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอีกด้วย โครงข่ายเสมือนจึงถูกมองเสมือนว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บข้อมูลที่อยู่ตามทุกแห่งทั่วโลกเสมือนถูกกองรวมกันไว้อยู่ ณ ที่แห่งเดียว โดยมี virtualization layer ช่วยในการควบคุมการทำงานและจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้แก่คำร้องขอที่เข้ามา ดังนั้นคำร้องขอที่มาจากผู้ใช้บริการอาจถูกแบ่งกระจายไปช่วยกันประมวลผลเช่น ถ้าเราส่งภาพถ่ายของเมืองๆ หนึ่งจากดาวเทียม ซึ่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บภาพถ่ายนั้นอาจมีให้บริการอยู่ 4 แห่งทั่วโลก เมื่อคำร้องขอมายังคำร้องนั้นจะถูกส่งแบ่งให้แก่เครื่องช่วยกันค้นหาภาพในแต่ละส่วนของเมืองแล้วส่งภาพนั้นคืนให้ผู้ใช้บริการ



ภาพที่ 6 ภาพรวมการทำงานบน cloud computing

ที่มา: Strassmann (2011)

คุณลักษณะที่สำคัญของ cloud computing มี 5 ลักษณะดังนี้

5.1 On-demand self-service ผู้ใช้งานสามารถกำหนดประสิทธิภาพของการประมวลผลได้ด้วยตนเอง เช่น ขนาดของหน่วยความจำในเครื่องข่าย, ความเร็วและจำนวนของระบบประมวลผล (CPU) หรือสามารถกำหนดความสามารถต่างๆ ให้ยืดหยุ่นโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องมีคนดูแล อีกทั้งสามารถใช้งานได้ทันที

5.2 Broad network access ความสามารถในการให้บริการผ่านระบบเครือข่ายและสามารถเข้าถึงได้โดยผ่านมาตรฐานกลางไม่ว่าจะอยู่ในแพลตฟอร์ม (Platform) ใด เช่น โทรศัพท์มือถือ, โน้ตบุ๊กหรือเครื่องพีซี

5.3 Resource pooling ผู้ให้บริการจะจัดหาทรัพยากรในการประมวลผลเพื่อที่จะให้บริการกับผู้ใช้งานจำนวนมาก โดยใช้รูปแบบการให้เช่าทรัพยากรที่หลากหลาย ตามความต้องการของผู้ใช้ ผู้ใช้สามารถกำหนดขอบเขตของสมรรถนะที่ต้องการโดยไม่ต้องมีความรู้ด้านการควบคุมบริหารจัดการหรือรู้ที่อยู่ของอุปกรณ์ประมวลผลของผู้ใช้เลย ตัวอย่างของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ฮาร์ดดิสก์, ซีพียู, หน่วยความจำและระบบเครือข่าย

5.4 Rapid elasticity ระบบมีความสามารถของการยืดหยุ่น สามารถตรวจสอบได้และมีความรวดเร็วในการดำเนินงาน ในบางกรณีสามารถทำได้โดยอัตโนมัติเพื่อขยายขนาดการประมวลผลของระบบให้เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตกลงกับผู้ให้บริการในเรื่องของการจัดเตรียมสมรรถนะของการประมวลผลว่าเวลาใดควรทำงานอย่างไรไม่จำกัดและมีการควบคุมปริมาณการประมวลผลในเวลาใด

5.5 Measured service ระบบ cloud computing โดยปกติแล้วจะมีการควบคุมและจัดสรรทรัพยากรแบบอัตโนมัติ โดยใช้การวัดปริมาณการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละประเภทของการให้บริการ เช่น ฮาร์ดดิสก์, ซีพียู, หน่วยความจำ, ระบบเครือข่ายหรือจำนวนผู้เข้ามาใช้งาน ดังนั้นทรัพยากรต่าง ๆ เหล่านี้จึงควรที่จะสามารถมีการควบคุมดูแลและสามารถออกรายงานได้เพื่อเป็นส่วนประกอบในการตัดสินใจของผู้ใช้งานในการพิจารณาการเพิ่มหรือลดขนาดของระบบ ซึ่งสามารถวัดปริมาณการใช้งานของระบบเพื่อบ่งบอกค่าใช้จ่ายโดยรวมของการใช้งาน cloud computing

## 6. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

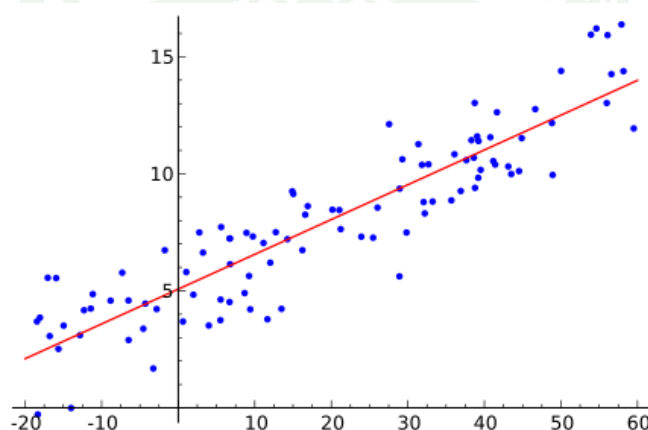
การวิเคราะห์การถดถอย (Hester, 2006) เป็นวิธีทางสถิติ (Statistics) ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณตั้งแต่สองตัวขึ้นไป เพื่อใช้ในการคาดคะเน (Predict) ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากตัวแปรหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยมีสองแบบใหญ่ๆ คือ ตัวแปรที่ไม่มีค่าคลาดเคลื่อน เราจะเรียกว่าตัวประมาณการหรือตัวแปรอิสระ (Predictor) โดยใช้สัญลักษณ์แทนคือ X ตัวแปรที่มีความคลาดเคลื่อน เราก็จะเรียกว่า ตัวตอบสนองหรือตัวแปรตาม (Response) สัญลักษณ์แทนคือ Y โดยที่

$$Y = F(X) \quad (1)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม  
X คือ ตัวแปรอิสระ

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ เราจะได้สมการหรือฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์กันของทั้งสองตัวแปร การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เราจะเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่าง

ง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ซึ่งการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของตัวแปรทำได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter diagram) ระหว่างตัวแปรทั้งสองเพื่อดูว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ข้อดีของการทำแผนภาพคือสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งสามารถเข้าใจง่าย แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือการตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรและไม่มีค่าสถิติมารองรับ ดังนั้นการแปลผลของแต่ละการทดลองอาจจะไม่ชัดเจนมากนัก ซึ่งบางครั้งความสัมพันธ์ของตัวแปรอาจจะเป็นเส้นโค้งหรืออาจจะหาความสัมพันธ์กันไม่ได้เลย ซึ่งหากหาความสัมพันธ์ไม่ได้ก็จะนำมาหาสมการการถดถอยไม่ได้



ภาพที่ 7 Scatter diagram แสดงความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้น

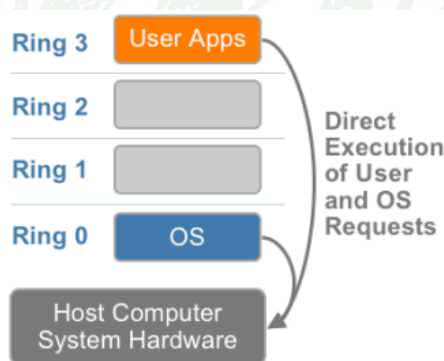
ที่มา: Wikipedia (2014)

## 7. Virtualization Technology

Virtualization คือการจำลองทรัพยากรระบบจริงในระบบคอมพิวเตอร์ไปเป็นระบบคอมพิวเตอร์เสมือนจริงหลายๆ ระบบ ทำให้สามารถใช้งานระบบปฏิบัติการ โปรแกรม ระบบเครือข่ายและระบบฮาร์ดแวร์ได้หลายๆระบบพร้อม กันและมีความเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับทรัพยากรจริงอันใดอันหนึ่งแม้ว่าจะเป็นคนละ Platform กันก็ตามนอกจากนี้ยังหมายถึง การรวบรวมทรัพยากรด้านการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูลและการติดต่อสื่อสารในแต่ละอุปกรณ์มารวมกันไว้ที่ศูนย์กลาง (Data center) เพื่อสะดวกในการดูแลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

ในอดีตการสร้าง virtualization ของระบบสามารถทำได้ 2 วิธีคือแบบ Hosted และ Hypervisor โดยแบบ Hosted การทำงานของ virtualization จะทำงานอยู่บนชั้นของระบบปฏิบัติการ หรือ Operating System เปรียบเสมือนการใช้งานของ virtualization เป็นเพียงโปรแกรมตัวหนึ่งที่คอยจัดสรรทรัพยากรผ่าน Operating System ซึ่งข้อดีของ virtualization ประเภท Hosted ก็คือสามารถใช้งานได้ง่ายและรองรับกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ Operating System จะเป็นผู้กำหนดหรือเป็นผู้เรียกใช้งาน Device Driver อยู่แล้ว ซึ่งต่างจากแบบ Hypervisor คือระบบ virtualization จะทำงานอยู่บนฮาร์ดแวร์โดยตรงไม่ผ่าน Operating System ทำให้การเข้าถึงฮาร์ดแวร์ต่างๆของเครื่องคอมพิวเตอร์ทำได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพมากกว่า แต่ก็ต้องแลกความยากลำบากด้วยการติดตั้งให้ตัว Hypervisor ทำความรู้จักกับฮาร์ดแวร์แต่ละประเภทซึ่งอาจจะไม่รองรับการทำงานของ virtualization

โดยปกติแล้วการทำงานของสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์จะแบ่งการทำงานของระบบตามสิทธิ์ในการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์เป็น 4 ชั้นคือ Ring 0, Ring 1, Ring 2, และ Ring 3 โดยชั้นที่อยู่ติดกับฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์คือ Ring 0 ซึ่งในชั้นนี้จะเป็นที่เก็บของ Operating System เพื่อให้สามารถมีสิทธิ์เรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ได้อย่างรวดเร็วและส่วนของโปรแกรมใช้งานทั่วไปก็จะอยู่ใน Ring 3 การทำงานของ virtualization



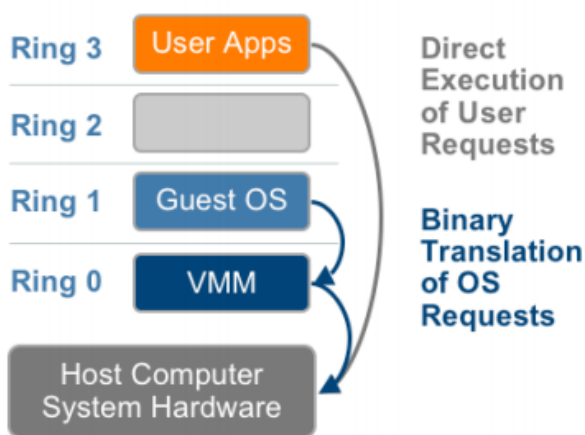
ภาพที่ 8 ภาพแสดงสิทธิ์การเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ทั่วไป

ที่มา: VMWare (2007)

ในปัจจุบันก็จะทำงานโดยสร้าง virtualization layer เข้าไปแทนที่หรือเข้าไปแทรกใน Ring 0 หรือลำดับชั้นที่ต่ำกว่านั้นและทำหน้าที่สร้างฮาร์ดแวร์เสมือนให้ Operating System เพื่อให้

Operating System คิดเหมือนว่ามีการทำงานอยู่บนฮาร์ดแวร์จริงๆ ซึ่งในการทำงานของ virtualization ในปัจจุบันมีเทคนิคในการใช้งาน virtualization อยู่ 3 แบบคือ

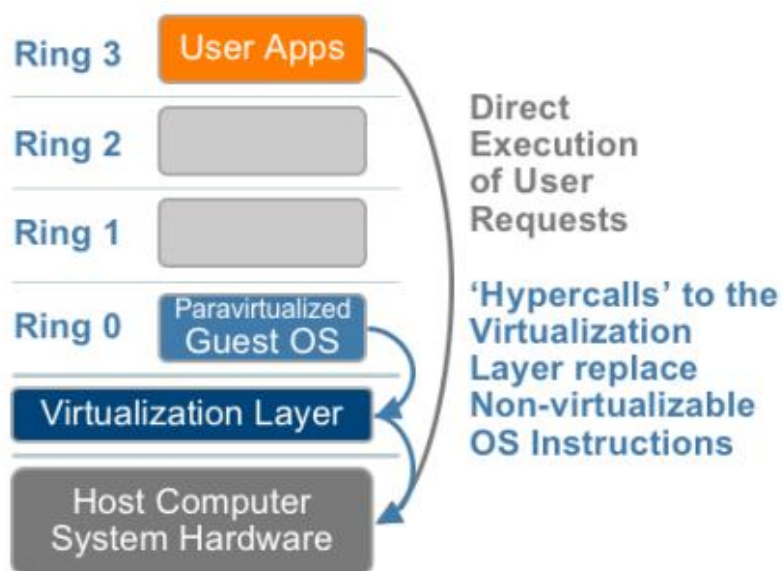
7.1 Full virtualization using binary translation เป็นเทคนิคในการแปลงชุดคำสั่งของ Operating System ในการเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ โดยปกติแล้วเทคนิคนี้จะให้ชั้น virtualization เข้าไปแทนที่ที่ Ring 0 และให้ Operating System ขยับไปทำงานที่ชั้น Ring 1 แทน โดยตัว virtualization จะเป็นตัวแปลงชุดคำสั่งของ Operating System และฮาร์ดแวร์ ข้อดีของเทคนิคแบบนี้คือการจัดการง่าย ไม่ต้องเปลี่ยนแปลง Operating System แต่ข้อเสียก็คือจะมี Overhead ในการทำงานค่อนข้างสูงจากการแปลงชุดคำสั่งของ Operating System



ภาพที่ 9 ภาพแสดงสิทธิ์การเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ Full virtualization using binary translation

ที่มา: VMWare (2007)

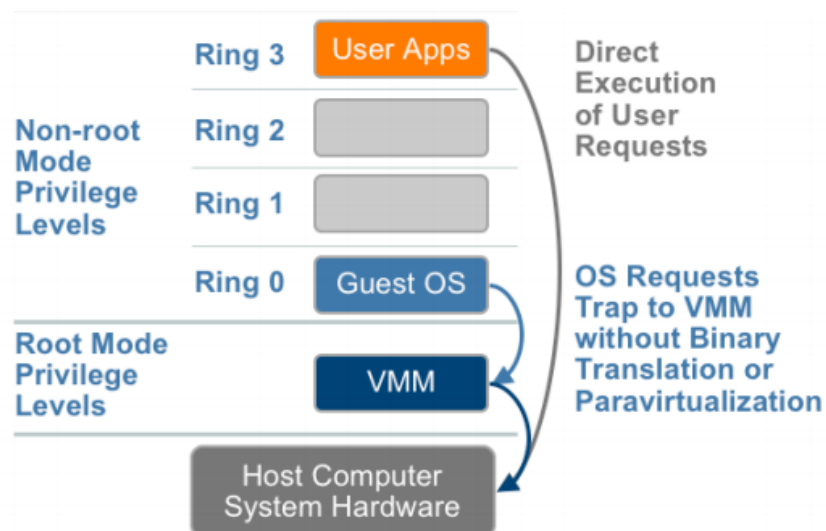
7.2 OS assisted virtualization or paravirtualization เป็นเทคนิคที่ทำให้ Operating System และ Hypervisor สามารถทำงานร่วมกันได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยการปรับปรุงชุดคำสั่งของ Operating System ทำให้ชุดคำสั่งของการทำงานมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้งานเครื่องปกติ แต่ก็สามารถใช้กับ Operating System ที่สามารถแก้ไข Kernel ของระบบได้เท่านั้น



ภาพที่ 10 ภาพแสดงสิทธิ์การเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ OS assisted virtualization or paravirtualization

ที่มา: VMWare (2007)

7.3 Hardware assisted virtualization เป็นเทคนิคที่ตัวฮาร์ดแวร์มาส่วนช่วยในการทำงานของระบบ virtualization โดยที่ระบบ virtualization สามารถทำงานอยู่บนชั้นพิเศษ (Root Mode) ที่ต่ำกว่าชั้น Ring 0 โดยสามารถดักจับชุดคำสั่งของ Operating System ที่อยู่บนชั้นที่สูงกว่าได้ โดยตรงไม่ต้องผ่านกระบวนการ Binary Translation หรือ Paravirtualization



ภาพที่ 11 ภาพแสดงสิทธิ์การเรียกใช้งานฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านเทคโนโลยี virtualization แบบ Hardware assisted virtualization

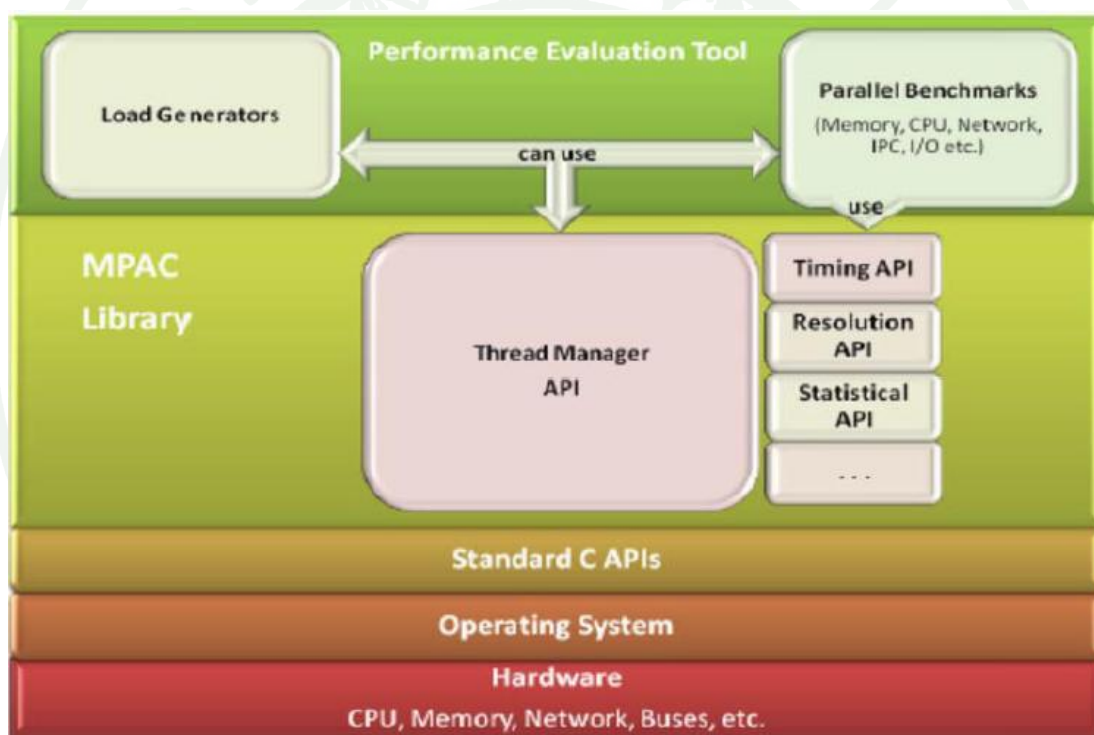
ที่มา: VMWare (2007)

## 8. MPAC Benchmark

Benchmark เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินและวัดประสิทธิภาพของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบในแต่ละองค์ประกอบ เช่น CPU, Memory, Disk หรือ Network และนำมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ในกลุ่มทดสอบเดียวกันว่าอุปกรณ์ตัวไหนตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดีกว่า อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดประสิทธิภาพเพื่ออ้างอิงความสามารถของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งโปรแกรม benchmark ที่มีอยู่มากมายหลากหลายผู้พัฒนา อีกทั้งบางโปรแกรมเป็นโปรแกรมที่วัดประสิทธิภาพเฉพาะทางเช่น STREAM (M.H., 2009) เป็นโปรแกรมวัดประสิทธิภาพของการทำงานของหน่วยความจำ (Memory) ที่มีพื้นฐานการทำงานบนหน่วยประมวลผลเพียงตัวเดียว (CPU Single Core) หรือ Netperf ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของปริมาณการส่งข้อมูลในช่วงๆ หนึ่งของระบบเครือข่าย

MPAC Benchmark (M.H., 2009) มีการออกแบบมาเพื่อรองรับกับการทดสอบอุปกรณ์และวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย โดยมีโครงสร้างพื้นฐานการใช้ทรัพยากรจากอุปกรณ์และระบบปฏิบัติการในการทำงาน สามารถสร้างการทำงานหรือทดสอบบนเครื่องที่มีหน่วยประมวลผล

มากกว่า 1 ตัวได้และผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนของข้อมูลที่น่าไปทดสอบอุปกรณ์ได้ นอกจากนี้ MPAC Benchmark ยังมีความสามารถในการทำงานวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์อื่นๆ อีก นอกเหนือจาก CPU เช่น Memory, อุปกรณ์ I/O, Network หรือโปรแกรมต่างๆ การทำงานของ MPAC Benchmark จะมี API ต่างๆ ที่มีหน้าที่ต่างๆ กันคอยทำงานในช่วงที่มีการทดสอบ ประสิทธิภาพของระบบ เช่น Timing API เป็นตัวจับเวลาในการวัดประสิทธิภาพ, Resolution API เป็นตัวจำนวนวัดการทำงานของการทำงานของการทดสอบ หรือ Statistical API เป็นส่วนช่วยประมวลผลทาง ค่าสถิติในการทดสอบ เป็นต้น โดย MPAC Benchmark จะมี Thread Manager API จัดการ API เหล่านี้ให้ทำงานสอดคล้องกันเพื่อให้ได้ค่าออกมาที่ถูกต้อง ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 โครงสร้างการทำงานของ MPAC Benchmark

ที่มา: M.H. (2009)

การวัดประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผล MPAC Benchmark ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ Benchmark ต่างๆและนำข้อดีของ Benchmark ต่างๆ นำมาพัฒนาการทำงานของ MPAC Benchmark ซึ่งมีการทำงานอยู่บนภาษา C ทำให้โปรแกรม MPAC Benchmark สามารถทำ

การวัดประสิทธิภาพได้ทั้งสถาปัตยกรรม x86 (32 bits) และ x64 (64 bits) ซึ่งในการทดสอบหน่วยประมวลผลของ MPAC Benchmark ได้นำ Bogomips Benchmark มารวบรวมและพัฒนาเพื่อนำมาทดสอบ CPU ที่มีมากกว่า 1 Core ได้ ซึ่งมี pseudo code ดังนี้

```

Main Thread:
N ← No of Threads
CALL mpac_int();
CALL mpac_bogo_arg_handler();
arg ← user_input;
CALL mpac_thread_manager_startj(N,arg,Routine);
Process Output;
CALL mpac_bogo_output();

Thread_local_processing (Routine):
Loops (1<<12);
WHILE incrementing Loops
    ticks clock();
CALL delay(Loops);
    ticks clock() - ticks;
IF ticks
    break;
END IF
END WHILE
RETURN Loops

```

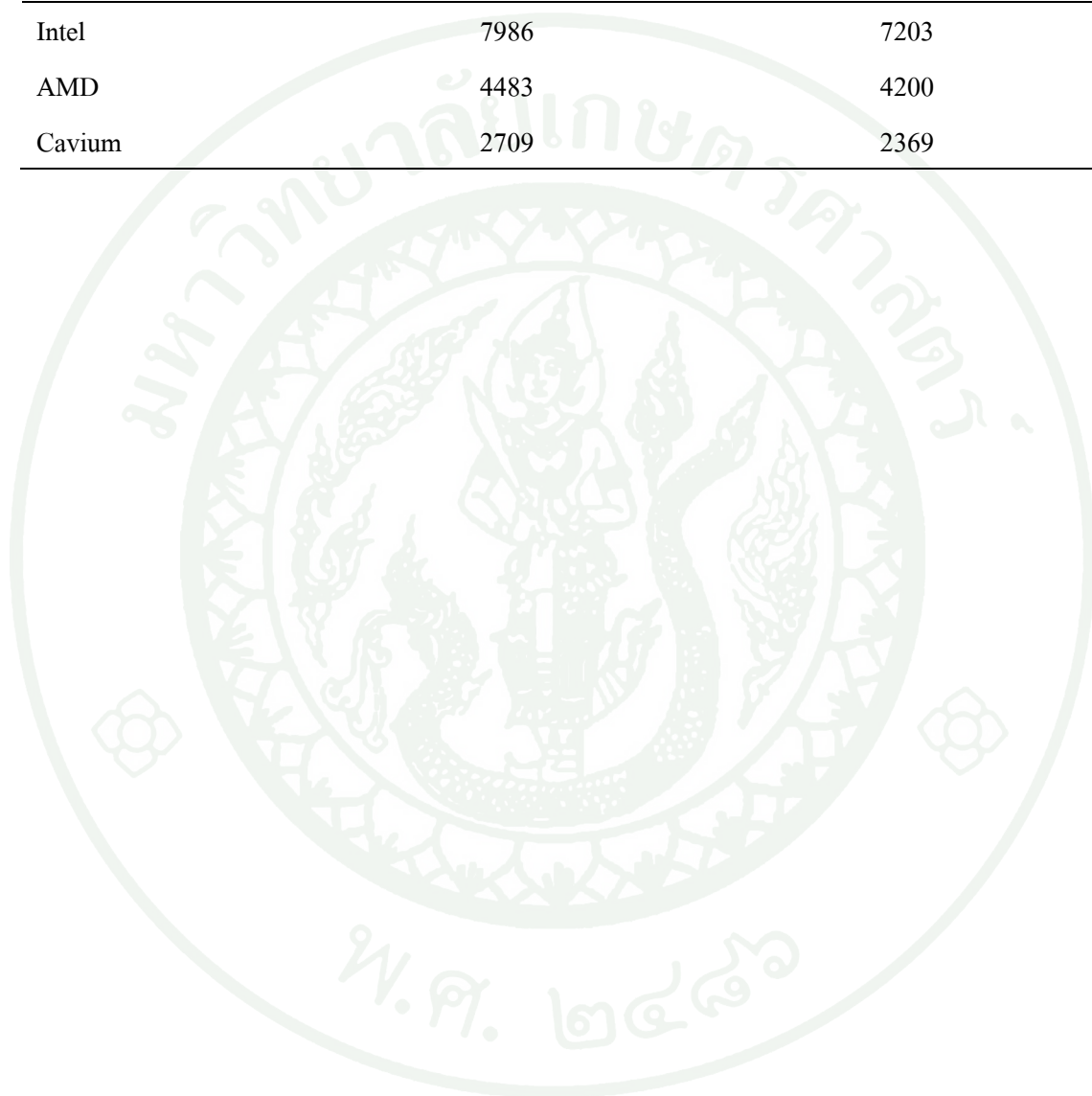
ภาพที่ 13 แสดง Pseudo code ของการวัดประสิทธิภาพ CPU

ที่มา: M.H. (2009)

การวัดประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายของ MPAC ใช้มาตรฐานเดียวกับ Netperf (Hewlett-Packard Company, 1995) โดยมีการปรับแต่งค่าการทำงานต่างๆ ตาม library ที่ Netperf ใช้และมีการตรวจสอบวัดประสิทธิภาพของ MPAC Benchmark เทียบกับ Netperf Benchmark โดยมีการกำหนดสภาพแวดล้อมของระบบการทดลองต่างกัน 3 แบบ คือ Intel, AMD และ Cavium ให้มีการส่งข้อมูลระหว่างกันในแต่ละสภาพแวดล้อมได้ผลการทดลองดังตาราง

**ตารางที่ 1** ตารางแสดงผลการวัดประสิทธิภาพของ Network โดยเปรียบเทียบระหว่าง Netpref และ MPAC

	<b>Netpref Benchmark</b>	<b>MPAC Benchmark</b>
Intel	7986	7203
AMD	4483	4200
Cavium	2709	2369

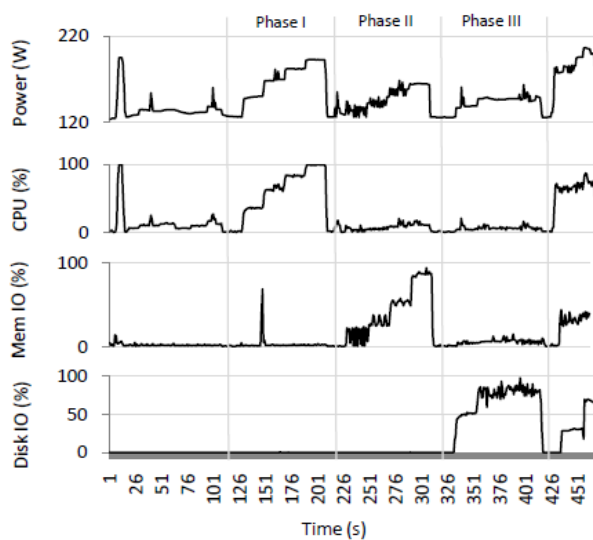


## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวัดค่าการใช้พลังงานของ cloud computing

ในปัจจุบัน cloud computing เริ่มมีการใช้งานที่แพร่หลายมากขึ้น การใช้พลังงานของ data center ในแง่มุมมองของผู้ให้บริการ cloud computing หรือองค์กรที่มี cloud computing เป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ถึงต้นทุนการทำงานและการวางแผนธุรกิจในอนาคต ดังนั้นการที่เราจะสามารถวัดค่าพลังงานของระบบ cloud computing ได้นั้นทำได้ยากยิ่งเนื่องจาก virtual machine ทำงานอยู่บนอุปกรณ์ที่หลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ซึ่งใน data center ต่างๆ การทำงานของระบบไม่อาจจะคำนวณการใช้พลังงานของ data center ได้ ทำให้เครื่องมือที่ใช้วัดการใช้พลังงานของ virtual machine ได้ถูกคิดค้นขึ้นในชื่อว่า “Joulmeter” (Hewlett-Packard Company, 1995) เป็น Software ที่ช่วยประเมินการใช้พลังงานของ Virtual Machine ที่ทำงานอยู่บน Cloud Computing โดยตัว Software มีหลักการในการวัดพลังงานโดยมีการใช้ Model Learning ซึ่งวัดค่าการใช้พลังงานงานตัวแปรที่มี workload การทำงาน 3 ส่วนคือ CPU memory และ Disk โดยใช้ Software SPEC CPU 2006 และ IOMeter ในการ generate workload และวัดค่าการใช้พลังงาน ซึ่งเมื่อได้ค่าในการ Learning มาจากการทดสอบการทำงานตาม SPEC ก็มีการคิดค่าการใช้พลังงานจากการทำงานของ Workload ต่างๆเพื่อให้โปรแกรมมีการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของ workload แต่ละประเภทเพื่อนำมาคำนวณค่าการใช้พลังงานของ VM

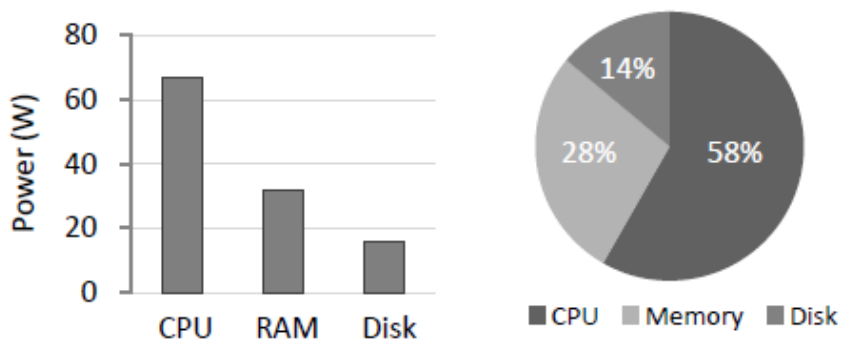
การออกแบบโปรแกรมผู้พัฒนาสังเกตว่าการใช้ resource ของคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานนั้นอุปกรณ์เหล่านั้นคือ CPU, memory และ disk โดยผู้พัฒนาโปรแกรมได้ทำการวัดค่าการใช้พลังงานของเครื่อง Dell PowerEdge และภายใน OS วัดค่าการใช้งาน utilization ของ CPU, memory และ disk และนำค่าที่ได้มาสรุปเป็นกราฟดังภาพที่ 4



ภาพที่ 14 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์และพลังงานที่ถูกใช้

ที่มา: Shekhar (2008)

เมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานจากอุปกรณ์จะได้เปอร์เซ็นต์ส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์ดังภาพที่ 15

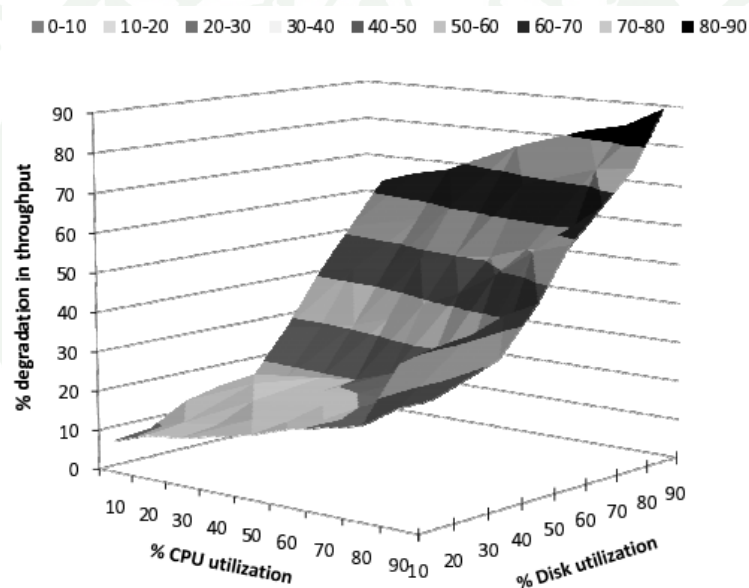


ภาพที่ 15 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด

ที่มา: Shekhar (2008)

งานวิจัยของ Shekhar (2008) ได้นำเสนอวิธีการวัดค่าพลังงานของระบบ cloud computing โดยวัดจากอัตราการใช้ CPU utilization กับ disk utilization โดยนำข้อมูลที่วัดได้รับมาเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงของการใช้งานต่อหน่วยของโปรแกรมที่ทำงานอยู่ในระบบ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องแม่ข่ายว่าที่ CPU utilization กับ disk utilization (M.H., 2009) ในตำแหน่งไหนมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด อีกทั้งยังคิดคำนวณความคงทนของการทำงานในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ว่าหากมีการสำรองทรัพยากรไว้ที่ 20% แล้วจะมีค่าการใช้พลังงานเปลี่ยนไป

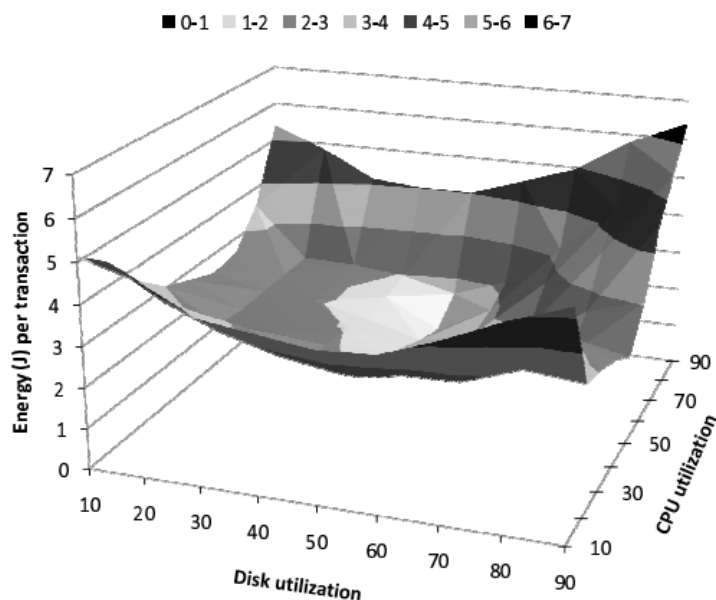
ดังภาพที่ 16 แสดงถึงการลำดับขั้นของ Throughput ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ CPU utilization และ Disk utilization เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 16 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบเทียบระหว่าง CPU utilization และ Disk utilization

ที่มา: Shekhar (2008)

มีการวัดการใช้พลังงานของ CPU และ disk โดยวัดเป็นอัตราส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์หารด้วยจำนวนโปรแกรมที่ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 17 กราฟแสดงพลังงานที่ใช้เทียบต่อการประมวลผล 1 โปรแกรม

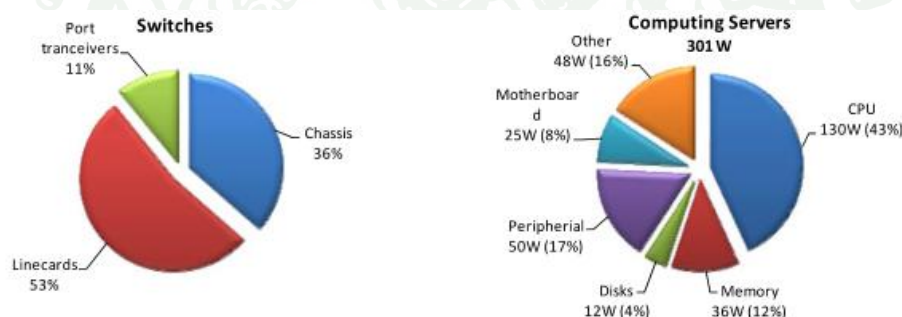
ที่มา: Shekhar (2008)

เมื่อมีการใช้งานแพร่หลายขึ้นแนวทางการวิจัยเรื่องพลังงานของ cloud computing ไม่ได้หยุดแค่ CPU และ disk เท่านั้น ดังเช่นงานวิจัยของ Kliazovich and Dzmitry (2012) การใช้พลังงานต่างๆ ของเครื่องที่ติดต่อเข้ามาในระบบก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการนำว่าวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบเครื่องคอมพิวเตอร์ปกติที่จะพบได้ในสำนักงาน เครื่องโน้ตบุ๊กและเครื่อง Thin Client เพื่อนำมาเป็นตัวแปรที่ช่วยในการคำนวณการใช้พลังงานขององค์กรได้อย่างแม่นยำมาก เมื่อเราประเมินพลังงานส่วนที่เป็น Terminal หรือเครื่อง Thin Client ได้ก็มีผู้เสนองานวิจัยที่จะประเมินพลังงานของ data center ทั้งระบบผ่าน simulation จำนวน 2 ตัวด้วยกันได้แก่ GreenCloud และ CloudSim (Shi *et al.*, 2011) โดยนักวิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยมรประเภทเครื่องหรือการร้องขอของ cloud computing เป็น 3 ประเภทโดยอ้างอิงจากตัว software หรือ application รวมถึงการกำหนด SLA ของผู้ให้บริการซึ่งแบ่งประเภทงานได้ดังนี้

- Computationally Intensive Workloads (CIWs) คือ โมเดลประเภทเน้นการใช้งานประมวลผลของ CPU โดยจะไม่ค่อยมีการใช้งานด้าน network หรือการโอนย้ายข้อมูล

- Data-Intensive Workloads (DIWs) งานประเภทนี้จะมีการใช้งาน network ค่อนข้างสูงมาก แต่การประมวลผลจะค่อนข้างน้อย เช่น งานที่ส่งไฟล์ video โดยอาจจะเป็น video streaming ซึ่งงานตรงจุดนี้นอกจากจะมี workload ที่เครื่องแล้วก็ยังมี workload ที่ core switch อีกด้วย
- Balanced Workloads (BWs) งานประเภทที่ใช้ workload ทั้งสองประเภทที่กล่าวมาข้างต้น เช่น งานประมวลผลแผนที่ผ่านระบบเครือข่ายเป็นต้น ซึ่งการใช้พลังงานของงานประเภทนี้ก็จะมึปริมาณการส่งงานผ่าน network ที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน

เมื่อแบ่งประเภทของเครื่องแล้วก็ทำการติดตั้งระบบทั้งหมดของ data center ลงใน simulator ทั้ง 2 ตัวโดยมี parameter ในแต่ topologies ของ network และ data center แบ่งตามประเภท link และ tier เมื่อทำการประมวลผลใน simulator ก็จะได้เป็นพลังงานโดยรวมของระบบแยกเป็นพลังงานจาก server และ switch ดังภาพ



ภาพที่ 18 พลังงานที่ใช้ใน data center โดยคิดจาก switch และ server

ที่มา: Kliazovich and Dzmitry (2012)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware)
  - 1.1 Server : Intel Core i7 3770 3.4 GHz, RAM 8 GB
  - 1.2 Client : Intel Core i7 4770 3.4 GHz, RAM 8 GB
2. ซอฟต์แวร์ (Software)
  - 2.1 Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (64-bit)
  - 2.2 Oracle VirtualBox 4.2.14
  - 2.3 CentOS 6.3
  - 2.4 VMWare ESXi 5.0.0.623860
  - 2.5 MPAC Benchmark 1.2

ตารางที่ 2 สรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

	SERVER	CLIENT
CPU	Intel Core i7 3770 3.4 GHz	Intel Core i7 4770
Memory	8 GB	8 GB
Network adapter	4 x Gigabit LAN	2 x Gigabit LAN
Operating system	VMWare ESXi 5.0.0.623860	Windows 7 SP1
Software		Oracle VM VirtualBox 4.2.14,Cent OS 6.3

## วิธีการ

การออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าการใช้พลังงานของ Virtual Machine ใน Cloud Computing เพื่อนำมาวิเคราะห์หาโมเดลของการใช้พลังงานของ Virtual Machine จำเป็นต้องมีข้อมูลของการใช้พลังงานของ Virtual Machine ในระดับการทำงานของอุปกรณ์ที่มี Workload หรือ Utilization ต่างๆกัน

### 1. ประเภทเครื่อง Virtual Machine ที่ใช้ในการทดลอง

การวัดการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภทที่แตกต่างกัน เราแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

#### 1.1 CPU-Only VMs

Virtual Machine ที่มีการประมวลผลโดยใช้งาน CPU เป็นหลัก มีความต้องการในการคิดและประมวลผลงานจำนวนมาก ในการทดลองจะมีจำนวน virtual machine ที่ทดสอบจำนวน 1, 2, 3 และ 4 เครื่อง ในแต่ละเครื่องจะมีการใช้ Utilization ของ CPU ใน virtual machine เป็น 11 ระดับคือ 0% , 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลาให้ virtual machine ทำงานเป็นเวลา 30 นาทีและบันทึกค่าการใช้พลังงานของเครื่อง server ที่ virtual machine ใช้งานในแต่ละการทดสอบ

#### 1.2 Network-Only VMs

Virtual Machine ที่มีการติดต่อกับเครือข่าย เช่น Web Server, Streaming Server โดยมีการวัดค่าการใช้พลังงานของระบบทั้งหมด โดย Virtual Machine ที่ใช้จะเป็นผู้รับ Connection จากผู้ใช้งานเข้ามาขนาดต่างๆกัน โดยทดสอบกับเครือข่าย WAN และ LAN ที่ขนาดงานต่างๆ กัน

#### 1.3 Hybrid VMs

เป็นการทดลองรูปแบบผสมที่นำเอา virtual machine ทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้น มาทดสอบในเครื่อง Server

## 2. คุณสมบัติของ virtual machine ที่นำมาทดสอบ

ในการทดสอบการใช้พลังงานของ virtual machine ต้องมีการกำหนดคุณสมบัติของเครื่องในแต่ละประเภทของการใช้งาน แต่เนื่องด้วยการทดลองมีทรัพยากรที่จำกัดจึงกำหนดคุณสมบัติของ virtual machine ทุกประเภทให้มีคุณสมบัติเหมือนกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

Virtual Machine	
CPU	Single Core 3400 MHz
Memory	1 GB
Network adapter	1 x Gigabit LAN
Operating system	CentOS 6.3
Software	MPAC Benchmark 1.2

## 3. ขอรุ่นแรมและชุดคำสั่งที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบการใช้พลังงานของ virtual machine บนเครื่อง server นั้น มีการสร้าง master disk โดยลงระบบปฏิบัติการ (Operating System) คือ Linux CentOS 6.3 และ MPAC Benchmark 1.2 ในเครื่อง virtual machine ทุกเครื่อง โดยในการทดลองเราแบ่งชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้าง utilization เป็น 2 กลุ่มดังนี้

3.1 Virtual Machine workload by CPU utilization ในการทดลองใช้ MPAC Benchmark 1.2 ในการสร้าง utilization ของ CPU โดยใช้คำสั่งดังนี้

```
./mpac_cpu_bm -n #A -r #B
```

โดยที่

- #A คือจำนวนของ thread ในการทำงานของ CPU
- #B คือจำนวนของการวนทำงานของชุดคำสั่งที่ใช้เพิ่มปริมาณ utilization

### 3.2 Virtual Machine workload by Network utilization ในการทดลองใช้ MPAC

Benchmark 1.2 ในการสร้าง utilization ของ Network โดยแบ่งเป็นคำสั่งของฝั่ง server และ client ดังนี้

#### 3.2.1 Server

```
./mpac_net_bm -c #A -e #B -b #C -l #D -t #E
```

โดยที่

- #A คือประเภทของการทำงานของโปรแกรมมี 2 ประเภทคือฝั่งรับและส่งข้อมูล โดยในฝั่ง server จะใช้ตัวแปร R ซึ่งแสดงถึงฝั่งรับข้อมูล
- #B คือประเภทของระยะเวลาการทำงานของคำสั่งมี 2 ประเภทคือ ทำงานตามระยะเวลาที่กำหนดและตามจำนวนข้อมูลที่ต้องการรับ โดยในฝั่ง server ใช้จะตัวแปร T คือเวลา
- #C คือขนาดของ buffer ในการทดลองนี้ใช้ค่า 16,384 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของโปรแกรม
- #D คือจำนวนของ thread ที่ทำงานเปิดรับข้อมูลจาก client ในการทดลองนี้ใช้จำนวน 1 thread
- #E คือประเภทของ protocol ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลมี 2 ประเภทคือ TCP และ UDP ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ UDP จึงตั้งค่าเป็น 1

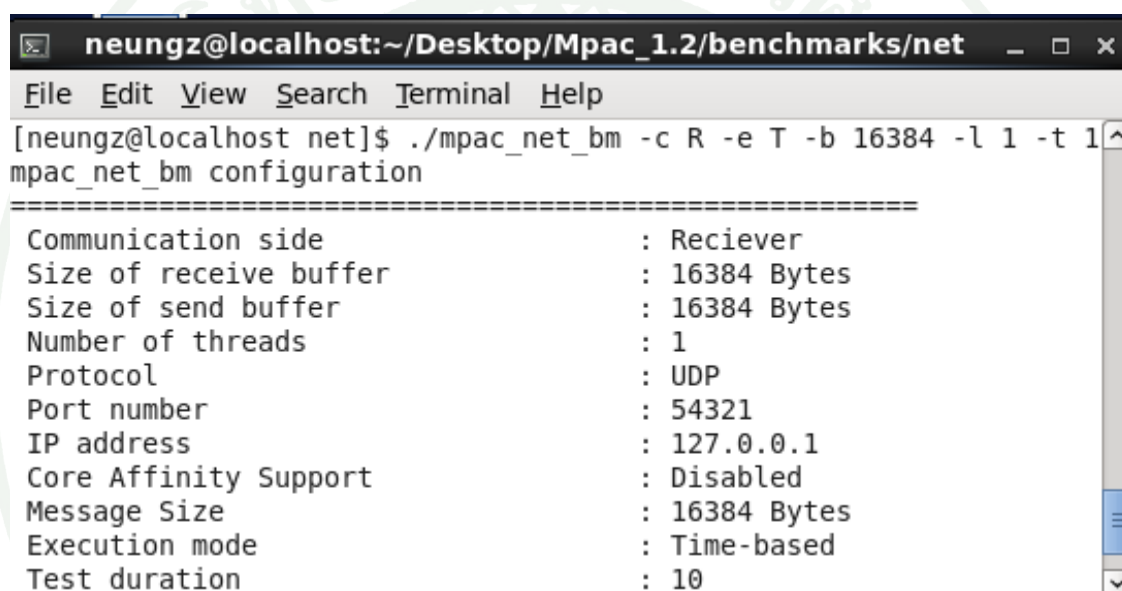
#### 3.2.2 Client

```
./mpac_net_bm -c #A -d #B -s #C -t #D -l #E -i #F
```

โดยที่

- #A คือประเภทของการทำงานของโปรแกรมมี 2 ประเภทคือฝั่งรับและส่งข้อมูล โดยในฝั่ง client จะใช้ตัวแปร S ซึ่งแสดงถึงการส่งข้อมูล
- #B คือจำนวนวินาทีที่ต้องการให้ส่งข้อมูล ในการทดลองนี้ทำงาน 30 นาทีจึงใช้ค่า 3,600 วินาที

- #C คือขนาดข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยเริ่มต้นที่ 50 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตาม utilization ของ network
- #D คือประเภทของ protocol ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลมี 2 ประเภทคือ TCP และ UDP ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ UDP จึงตั้งค่าเป็น 1
- #E คือจำนวนของ thread ที่ทำงานเปิดรับข้อมูลจาก client ในการทดลองนี้ใช้จำนวน 1 thread
- #F คือ IP Address ของเครื่อง server ปลายทางที่ต้องการส่งข้อมูล

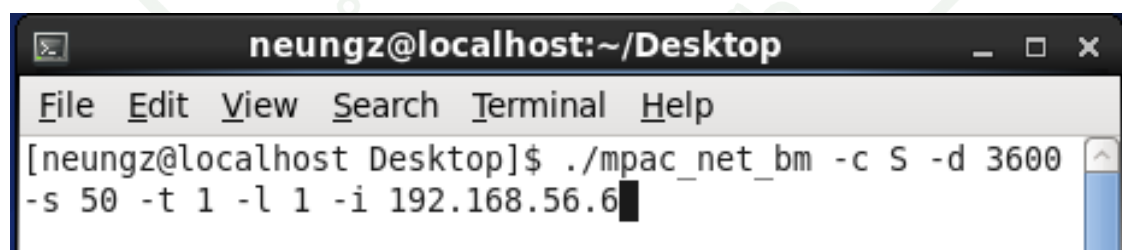


```

neungz@localhost:~/Desktop/Mpac_1.2/benchmarks/net
File Edit View Search Terminal Help
[neungz@localhost net]$ ./mpac_net_bm -c R -e T -b 16384 -l 1 -t 1
mpac_net_bm configuration
=====
Communication side           : Reciever
Size of receive buffer      : 16384 Bytes
Size of send buffer         : 16384 Bytes
Number of threads           : 1
Protocol                    : UDP
Port number                 : 54321
IP address                  : 127.0.0.1
Core Affinity Support       : Disabled
Message Size                : 16384 Bytes
Execution mode              : Time-based
Test duration               : 10

```

ภาพที่ 19 ตัวอย่างการใช้คำสั่งเพื่อทดสอบ Network utilization ในฝั่ง server



```

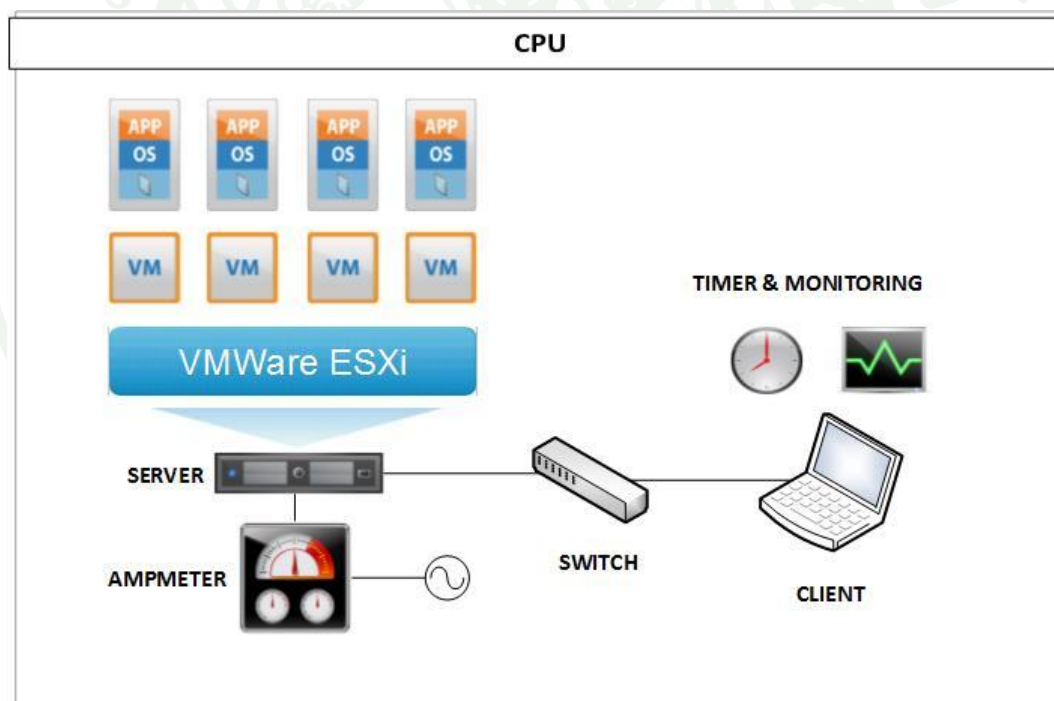
neungz@localhost:~/Desktop
File Edit View Search Terminal Help
[neungz@localhost Desktop]$ ./mpac_net_bm -c S -d 3600
-s 50 -t 1 -l 1 -i 192.168.56.6

```

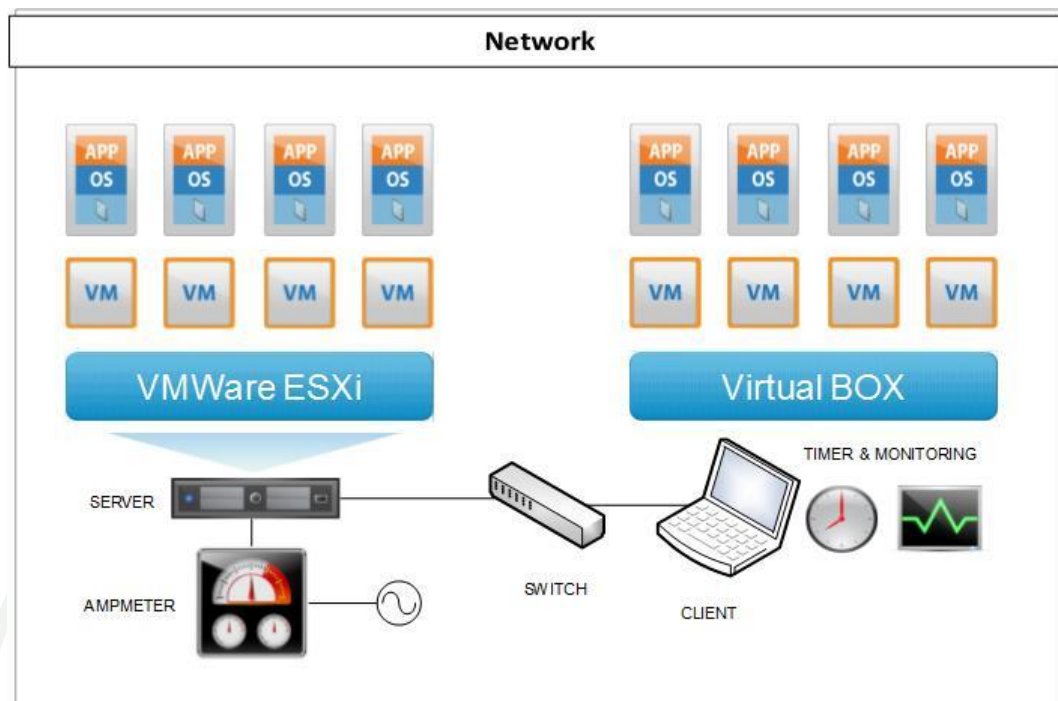
ภาพที่ 20 ตัวอย่างการใช้คำสั่งเพื่อทดสอบ Network utilization ในฝั่ง client

#### 4. การติดตั้งการทดลองและการบันทึกผล

ในการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ในแต่ละประเภท ซึ่งแบ่งการทดลอง ออกเป็น 3 เซตคือ CPU-Only VMs, Network-Only VMs และ Hybrid VMs โดยที่ CPU-Only VMs และ Network-Only ในการทดลองจะมีจำนวนของ virtual machine จำนวน 1,2,3 และ 4 เครื่องใน แต่ละการทดลองจะวัดค่าการใช้พลังงานโดยที่เริ่มจาก utilization ของประเภทการทดลองนั้นๆ จาก 0% เพิ่มขึ้นทีละ 10% จนกระทั่งถึง 100% และในการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine จะต้องทำการทดลองในแต่ละครั้งเป็นเวลา 30 นาทีโดยวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine จาก ampmeter และจดบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน ทำแบบนี้ 3 รอบต่อ 1 การทดลอง เพื่อนำค่าที่ได้ จำนวน 3 ค่ามาหาค่า median เพื่อนำไปวิเคราะห์หาโมเดลสมการการใช้พลังงานของ virtual machine แต่ละประเภท

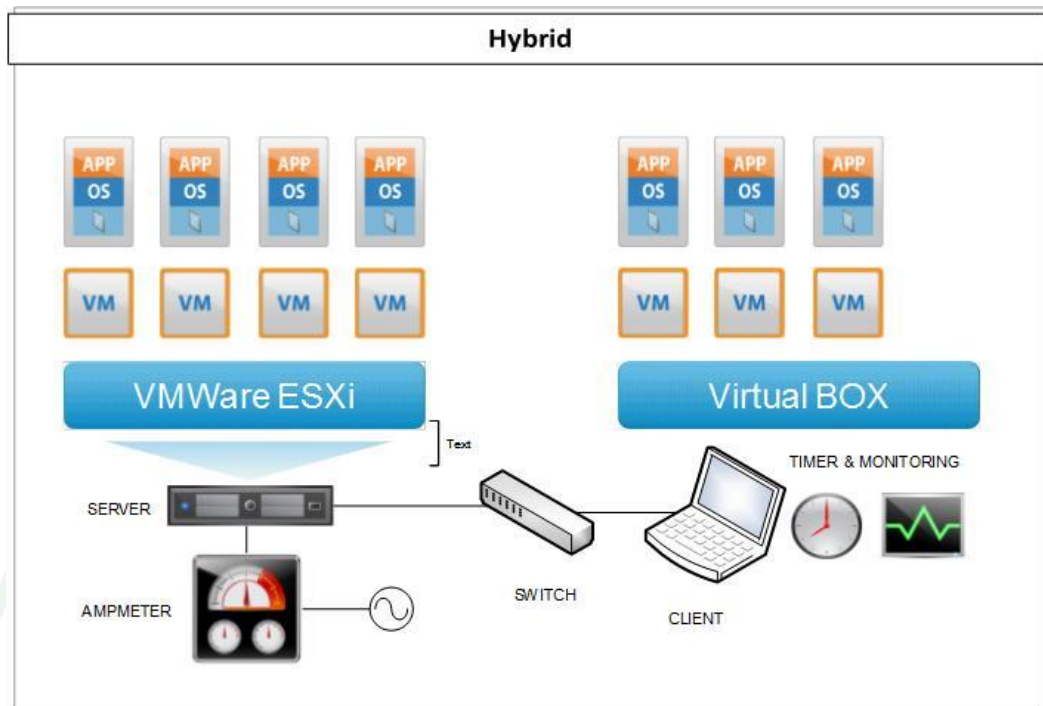


ภาพที่ 21 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine ประเภท CPU



ภาพที่ 22 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine ประเภท Network

สำหรับการทดลองแบบ Hybrid-VMs นั้นจะแบ่งย่อยเป็น 3 การทดลองโดยในแต่ละการทดลองจะมี virtual machine จำนวน 4 เครื่อง แต่ใน 4 เครื่องนี้จะมีการผสมของประเภท virtual machine กล่าวคือในการทดลองแรกจะมี virtual machine 1 เครื่องที่เป็น CPU VM และ 3 เครื่องเป็น Network VMs การทดลองที่สองจะมี virtual machine 2 เครื่องที่เป็น CPU VMs และ 2 เครื่องเป็น Network VMs การทดลองสุดท้ายจะมี virtual machine 3 เครื่องที่เป็น CPU VMs และ 1 เครื่องเป็น Network VMs ในการทดลองแบบ Hybrid-VMs นี้แต่ละการทดลองจะวัดค่าการใช้พลังงาน โดยที่เริ่มจาก utilization ของประเภท virtual machine การทดลองนั้นๆ จาก 0% เพิ่มขึ้นทีละ 10% จนกระทั่งถึง 100% และในการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine จะต้องทำการทดลองในแต่ละครั้งเป็นเวลา 30 นาทีโดยวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine จาก ammeter และจดบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน ทำแบบนี้ 3 รอบต่อ 1 การทดลอง เพื่อนำค่าที่ได้จำนวน 3 ค่ามาหาค่า median เพื่อนำไปวิเคราะห์หาโมเดลสมการการใช้พลังงานของ virtual machine แต่ละประเภท



ภาพที่ 23 diagram แสดงการวัดค่าพลังงานของ virtual machine แบบ Hybrid

## ผลและวิจารณ์

### ผล

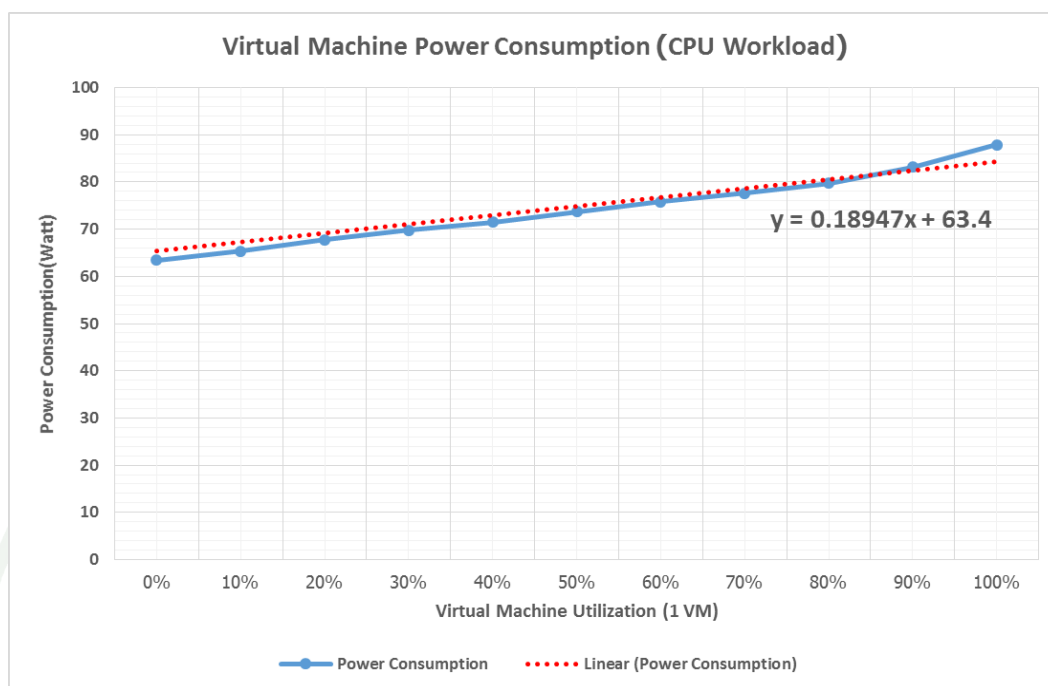
ผลลัพธ์จากการทดลองแยกตามประเภทการทดลองได้ดังนี้

#### 1. ผลการทดลอง CPU-Only VMs

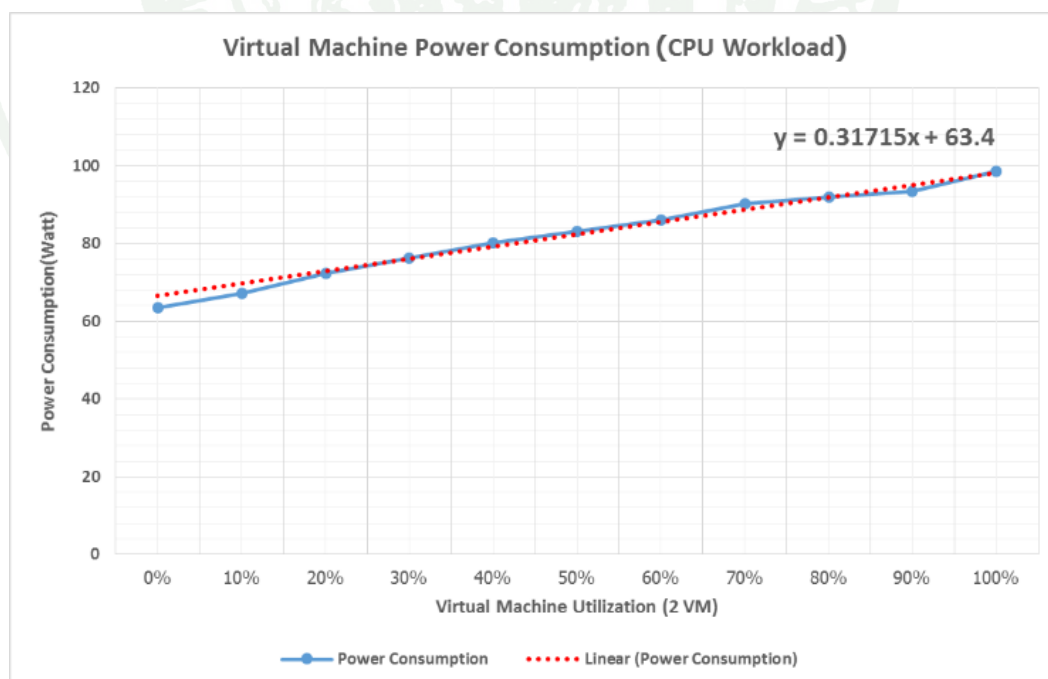
ตารางที่ 4 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU utilization

VM Utilization	Number of VM			
	1	2	3	4
0%	63.40	63.40	63.40	63.40
10%	65.37	67.27	69.60	73.93
20%	67.73	72.40	76.27	80.03
30%	69.73	76.17	82.17	85.67
40%	71.43	80.10	86.27	89.50
50%	73.70	83.13	90.13	94.00
60%	75.80	86.00	93.47	98.63
70%	77.63	90.20	96.77	101.53
80%	79.70	92.07	99.77	105.63
90%	83.17	93.40	102.33	110.03
100%	87.90	98.53	107.33	115.73

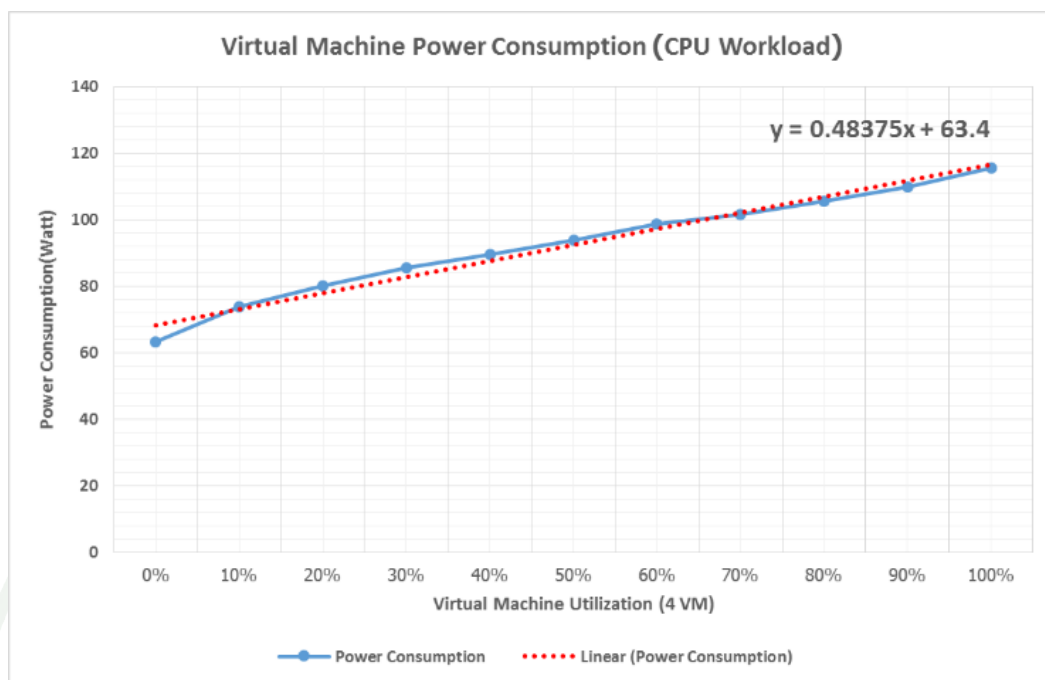
จากตารางที่ 4 แสดงผลการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU utilization โดยมีจำนวน virtual machine ตั้งแต่ 1 ถึง 4 เครื่องและแต่ละการทดลองมีการเพิ่ม utilization ของ CPU เพิ่มขึ้นครั้งละ 10% และทดลองกรณีละ 3 ครั้งและนำค่า 3 ค่าที่ได้มาหาค่า median เพื่อนำมาคำนวณ โมเดลการใช้พลังงาน โดยนำค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ในแต่ละเคสการทดสอบมาหาสมการ linear regression ได้กราฟและสมการในแต่ละเคสดังรูป



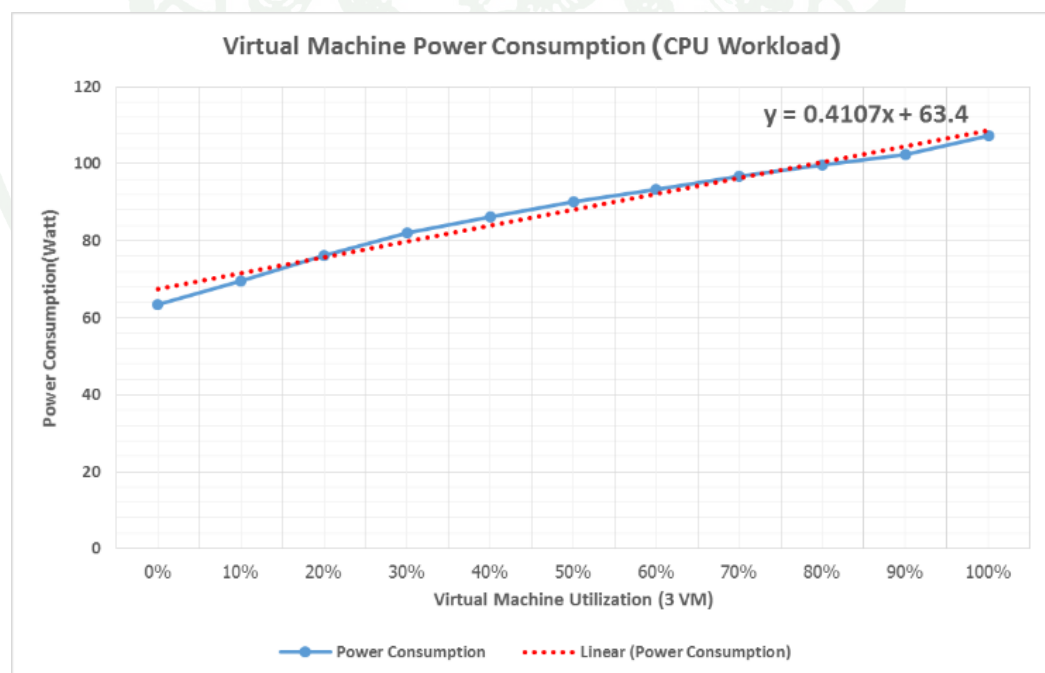
ภาพที่ 24 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่อง



ภาพที่ 25 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่อง



ภาพที่ 26 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่อง



ภาพที่ 27 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 4 เครื่อง

จะได้สมการการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU ในแต่ละเคสดังนี้

Virtual machine จำนวน 1 เครื่อง

$$E = 0.18947 \times U_{VM} + 63.4 \quad (2)$$

Virtual machine จำนวน 2 เครื่อง

$$E = 0.31715 \times U_{VM} + 63.4 \quad (3)$$

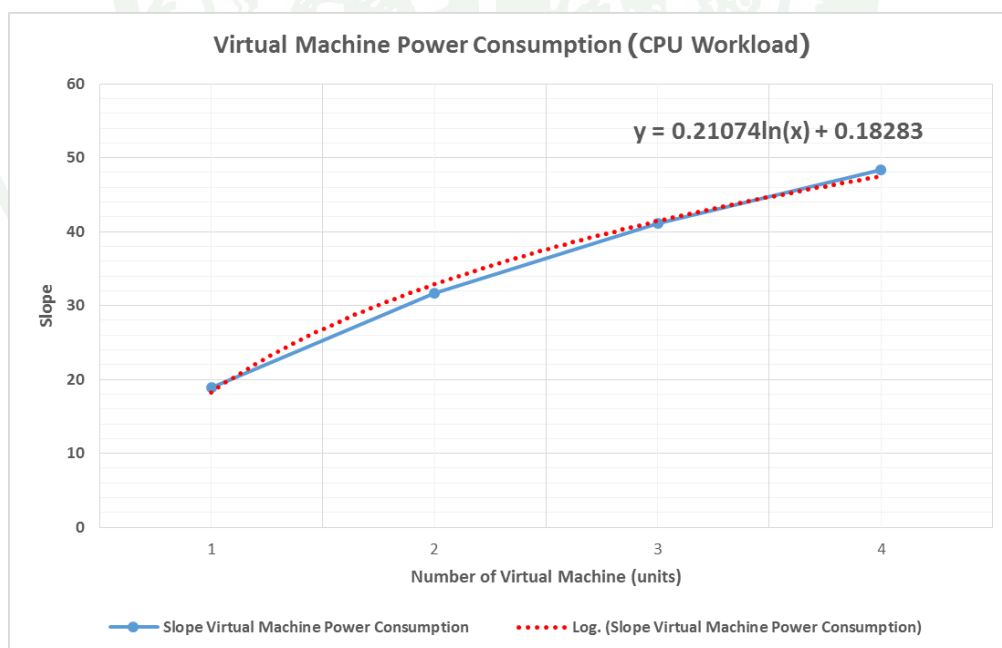
Virtual machine จำนวน 3 เครื่อง

$$E = 0.41070 \times U_{VM} + 63.4 \quad (4)$$

Virtual machine จำนวน 4 เครื่อง

$$E = 0.48375 \times U_{VM} + 63.4 \quad (5)$$

และเมื่อนำสมการทั้ง 4 สมการนำค่าความชันมาพลอตเป็นกราฟเพื่อดูอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นได้กราฟและสมการดังรูป



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine

นำสมการที่ได้จากกราฟไปแทนค่าในสมการที่ (2) จะได้โมเดลของการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU ดังนี้

$$E = \{[(0.21074 \times \ln(N)) + 0.18283] \times U_{VM}\} + E_i \quad (6)$$

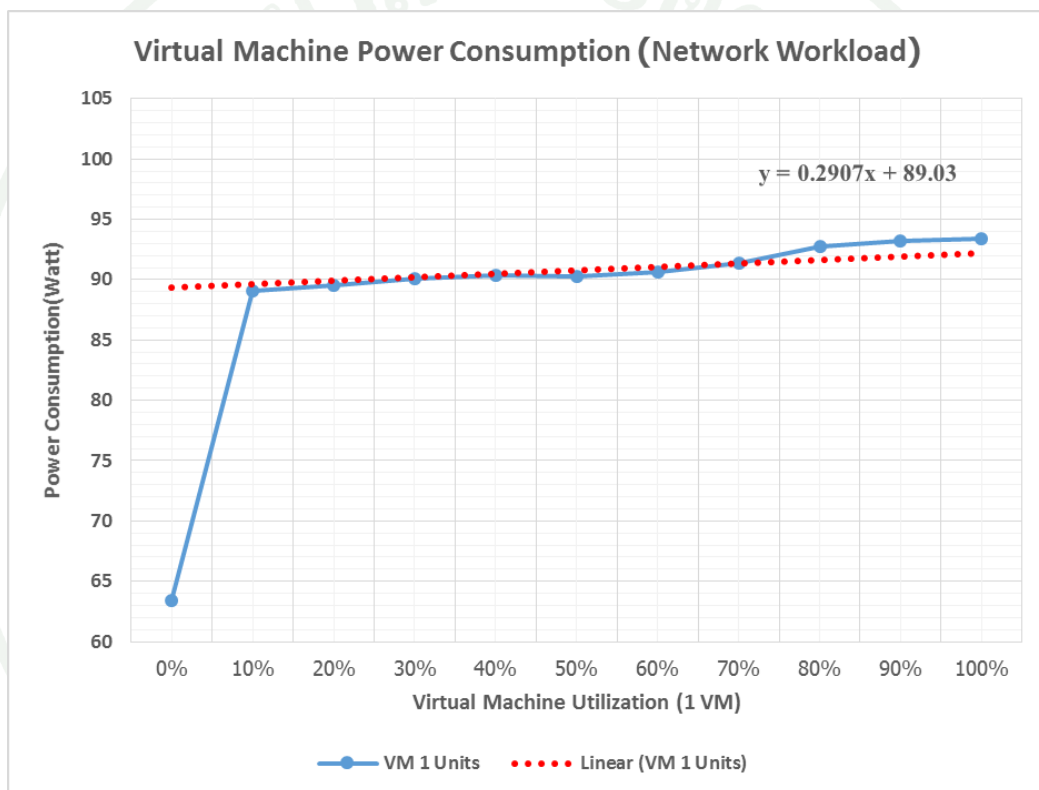
โดยที่ E คือ พลังงานที่ใช้ไปของเครื่อง server  
 N คือ จำนวนเครื่อง virtual machine  
 $U_{VM}$  คือ ขนาดของ workload ของ CPU บน virtual machine  
 $E_i$  คือ พลังงานเริ่มต้นของเครื่องในขณะที่ไม่มีการทำงาน

## 2. ผลการทดลอง Network-Only VMs

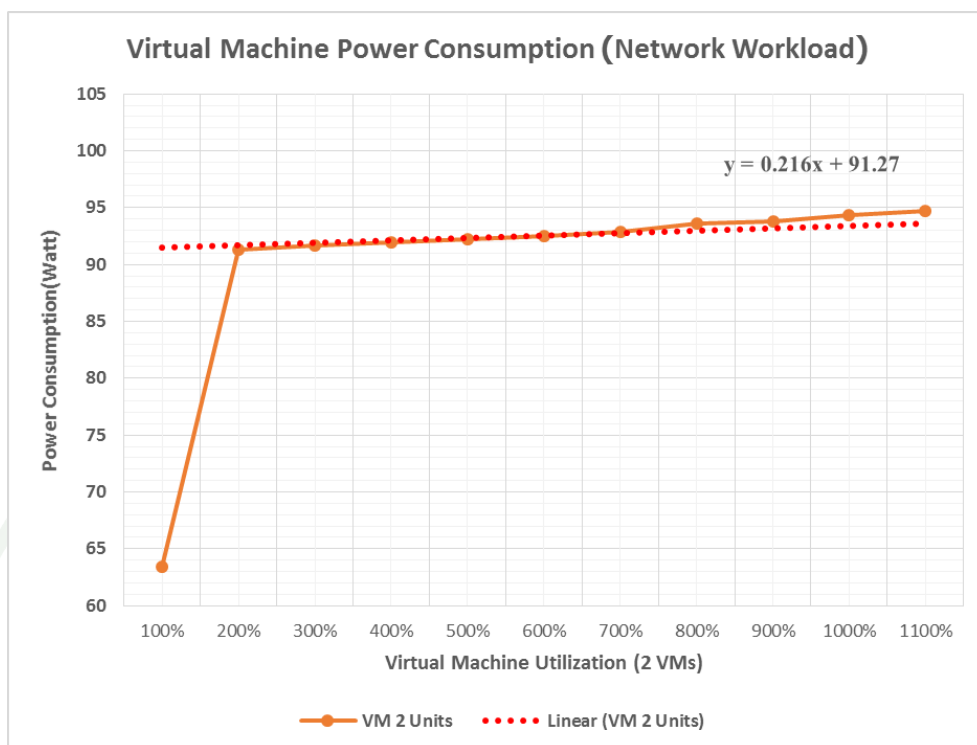
ตารางที่ 5 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network utilization

VM Utilization	Number of VM			
	1	2	3	4
0%	63.40	63.40	63.40	63.40
10%	89.03	91.27	96.03	97.53
20%	89.57	91.70	96.53	97.87
30%	90.10	91.93	96.47	98.40
40%	90.40	92.27	97.27	98.50
50%	90.23	92.53	97.67	98.77
60%	90.60	92.83	97.90	99.30
70%	91.33	93.63	97.60	99.70
80%	92.73	93.77	99.33	100.10
90%	93.23	94.30	99.67	100.93
100%	93.40	94.73	100.23	101.57

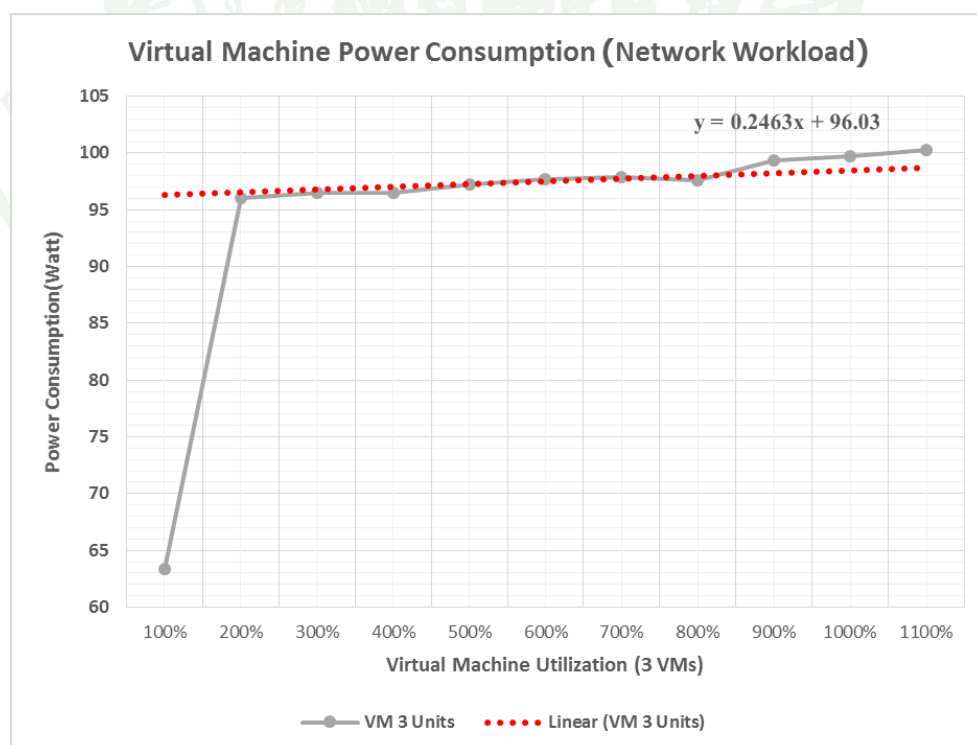
จากตารางที่ 5 แสดงผลการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network utilization โดยมีจำนวน virtual machine ตั้งแต่ 1 ถึง 4 เครื่องและแต่ละการทดลองมีการเพิ่ม utilization ของ network เพิ่มขึ้นครั้งละ 10% และทดลองกรณีละ 3 ครั้งและนำค่า 3 ค่าที่ได้มาหาค่า median เพื่อนำมาคำนวณโมเดลการใช้พลังงาน โดยนำค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ในแต่ละเคสการทดสอบมาหาสมการ linear regression จากการพลอตกราฟลงใน Microsoft Excel 2010 ได้กราฟและสมการของการใช้พลังงานในแต่ละเคสดังรูป



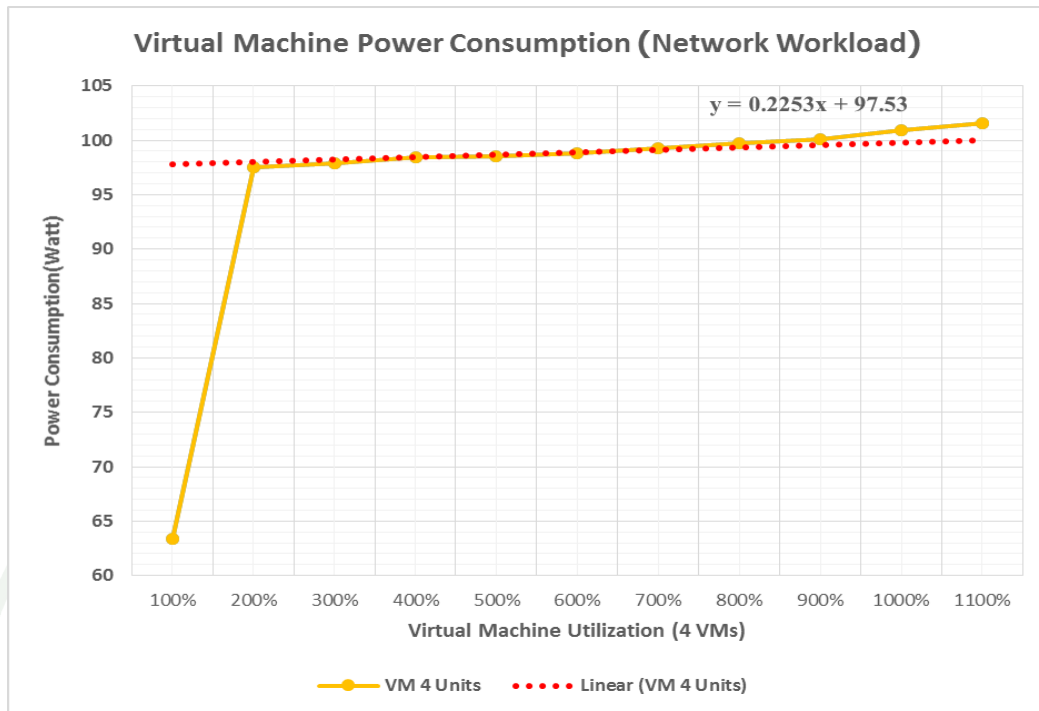
ภาพที่ 29 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 เครื่อง



ภาพที่ 30 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 2 เครื่อง



ภาพที่ 31 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 3 เครื่อง



ภาพที่ 32 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 4 เครื่อง

จะได้สมการการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท Network ในแต่ละเคสดังนี้

Virtual machine จำนวน 1 เครื่อง

$$E = 0.2907 \times U_{VM} + 89.03 \quad (7)$$

Virtual machine จำนวน 2 เครื่อง

$$E = 0.2160 \times U_{VM} + 91.27 \quad (8)$$

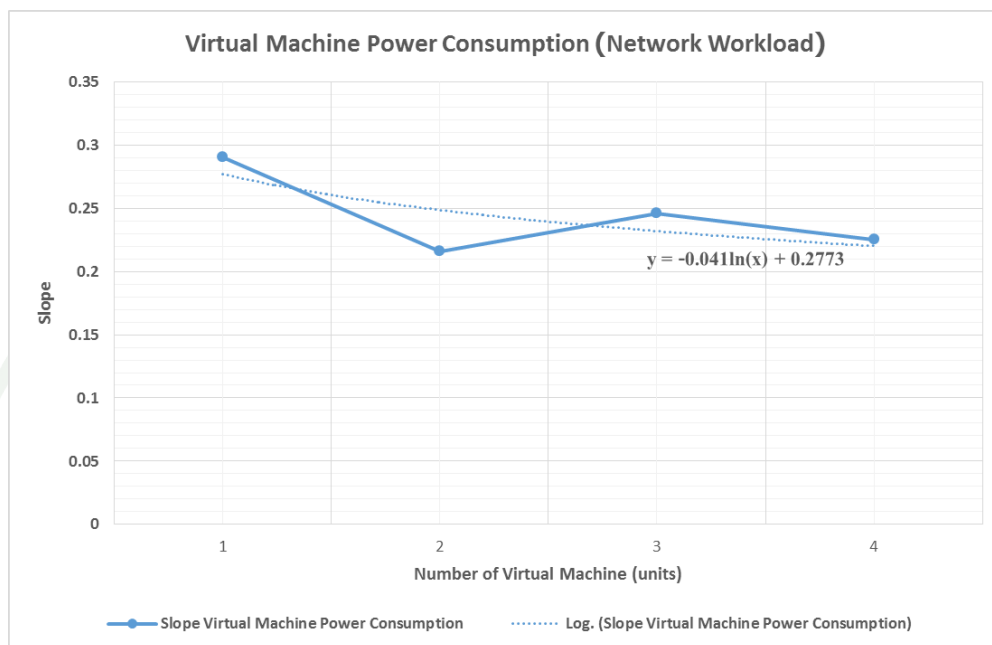
Virtual machine จำนวน 3 เครื่อง

$$E = 0.2463 \times U_{VM} + 96.03 \quad (9)$$

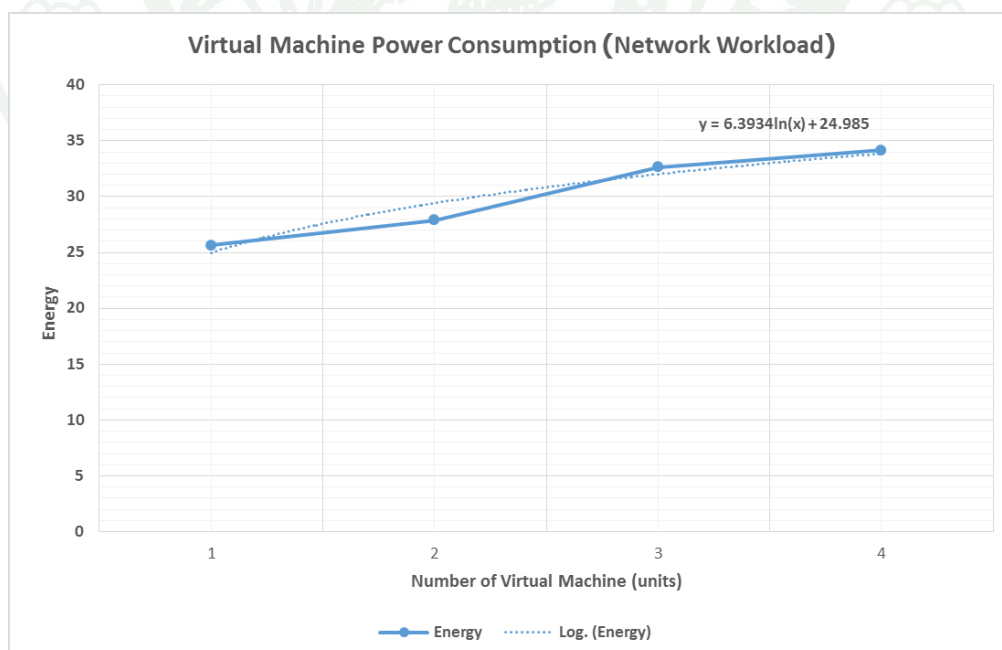
Virtual machine จำนวน 4 เครื่อง

$$E = 0.2253 \times U_{VM} + 97.53 \quad (10)$$

และเมื่อนำสมการทั้ง 4 สมการนำค่าความชันมาพลอตเป็นกราฟเพื่อดูอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นได้กราฟและสมการดังรูป



ภาพที่ 33 กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine



ภาพที่ 34 กราฟแสดงความชันของการใช้พลังงานของ virtual machine

นำสมการที่ได้จากกราฟไปแทนค่าในสมการที่ (7) จะได้โมเดลของการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network ดังนี้

$$E = \{[(0.0245 \times N) \times U_{VM}] - [6.255 \times \ln(N)]\} + 35.035 + E_i \quad (11)$$

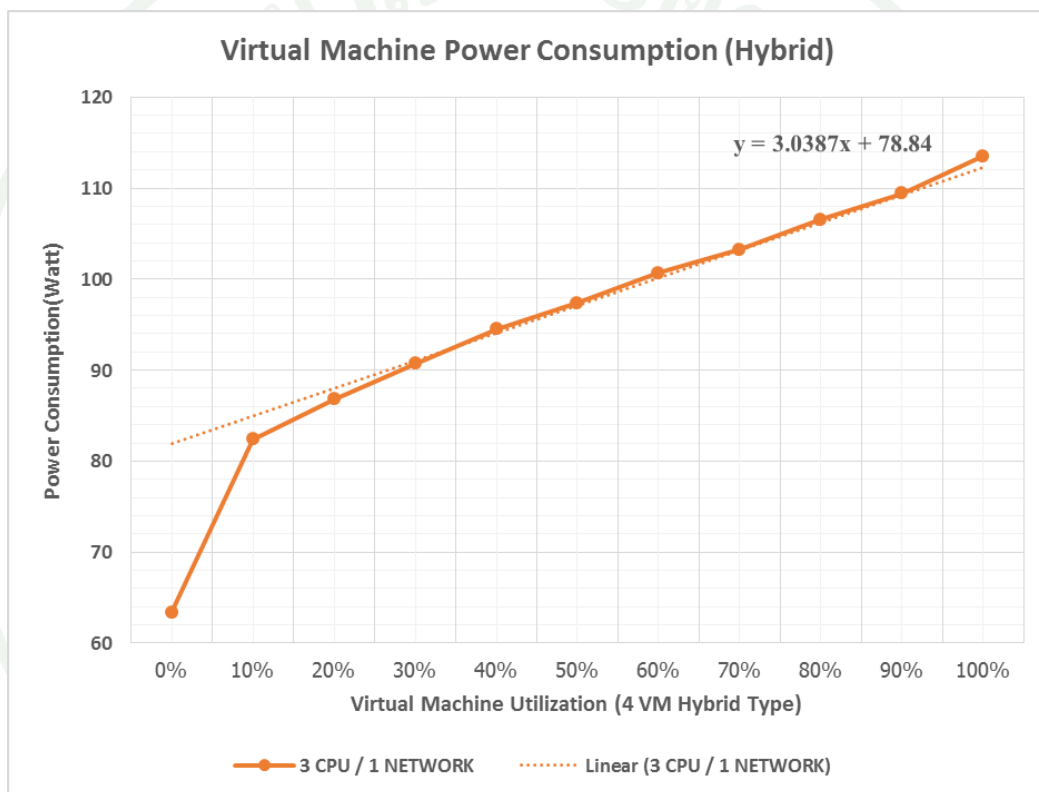
โดยที่ E คือ พลังงานที่ใช้ไปของเครื่อง server  
 N คือ จำนวนเครื่อง virtual machine  
 $U_{VM}$  คือ ขนาดของ workload ของ network บน virtual machine  
 $E_i$  คือ พลังงานเริ่มต้นของเครื่องในขณะที่ไม่มีการทำงาน

### 3. ผลการทดลอง Hybrid VMs

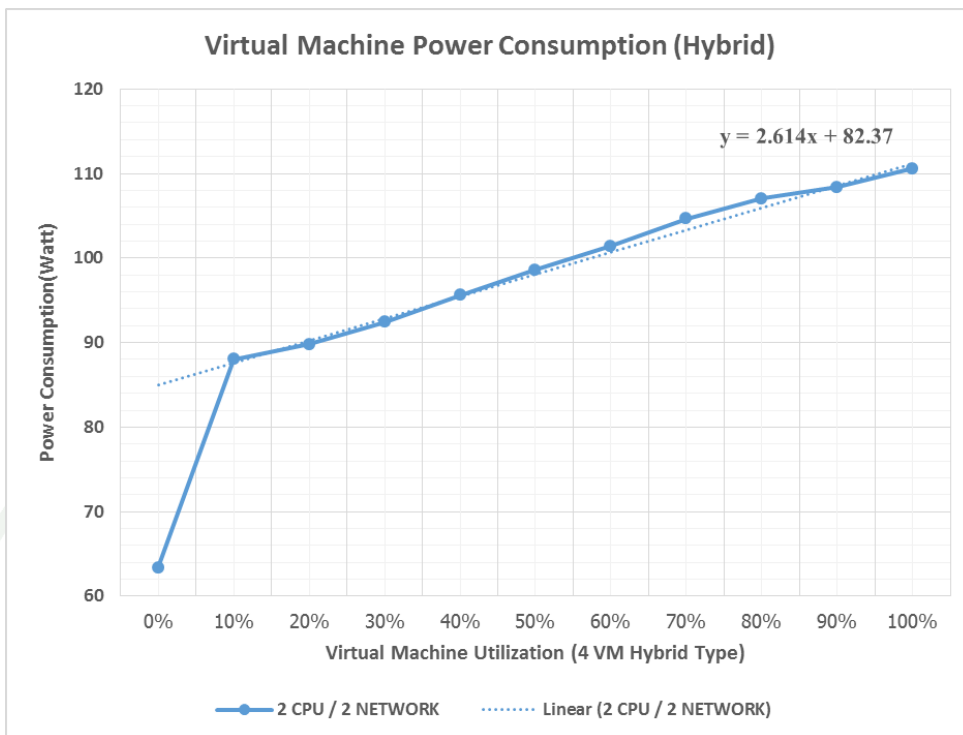
ตารางที่ 6 การใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท hybrid utilization

VM Utilization	Number of VM		
	CPU 2 / NETWORK 2	CPU 3 / NETWORK 1	CPU 1 / NETWORK 3
0%	63.40	63.40	63.40
10%	88.03	82.37	92.87
20%	89.80	86.80	94.40
30%	92.40	90.70	95.57
40%	95.60	94.53	96.50
50%	98.60	97.37	97.77
60%	101.40	100.67	98.73
70%	104.67	103.23	99.20
80%	107.03	106.57	100.77
90%	108.40	109.43	101.80
100%	110.60	113.53	102.93

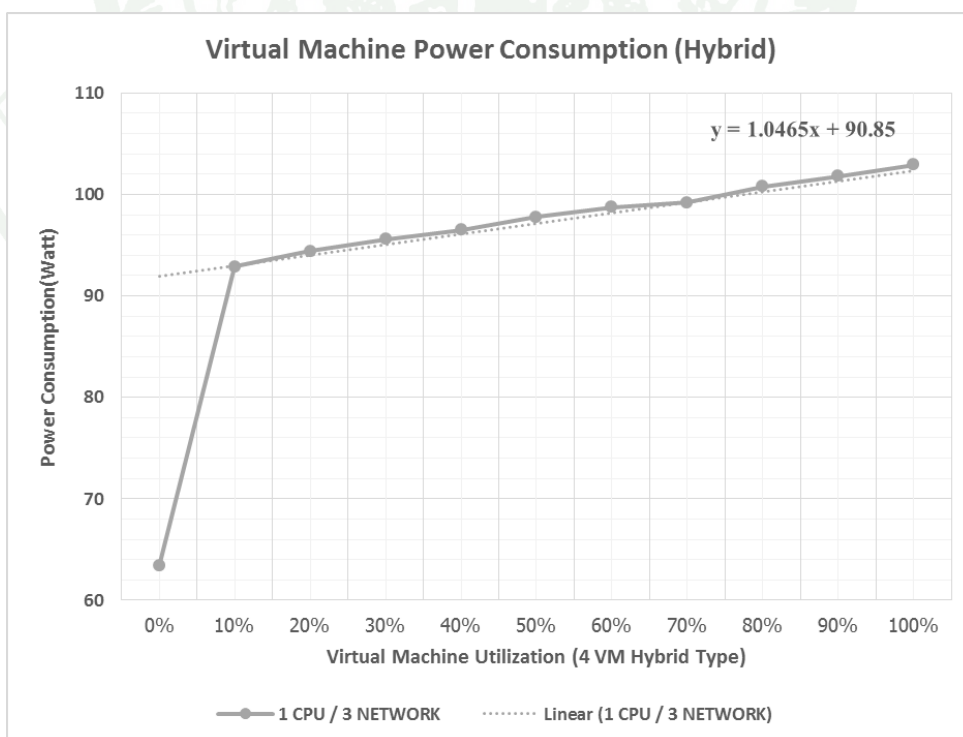
จากตารางที่ 6 แสดงผลการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท hybrid utilization โดยมีจำนวน virtual machine จำนวน 4 เครื่องและแต่ละการทดลองมีการเพิ่ม utilization ของ network เพิ่มขึ้นครั้งละ 10% และทดลองกรณีละ 3 ครั้งและนำค่า 3 ค่าที่ได้มาหาค่า median เพื่อนำมาคำนวณ โมเดลการใช้พลังงาน โดยนำค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ในแต่ละเคสการทดสอบมาหาสมการจากการพลอตกราฟลงใน Microsoft Excel 2010 ได้กราฟและสมการของการใช้พลังงานในแต่ละเคสดังภาพ



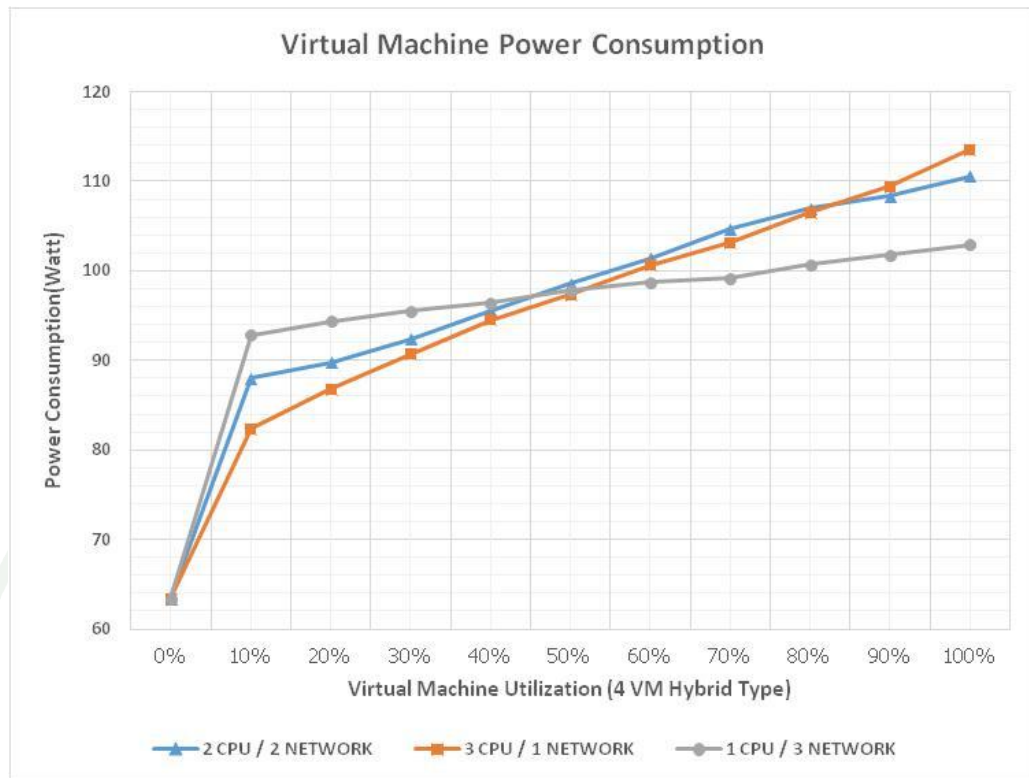
ภาพที่ 35 แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 3 เครื่องและ Network 1 เครื่อง



ภาพที่ 36 แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 2 เครื่องและ Network 2 เครื่อง



ภาพที่ 37 แสดงการใช้พลังงานของ VM ประเภท CPU 1 เครื่องและ Network 3 เครื่อง



ภาพที่ 38 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท Hybrid จำนวน 3 เครื่อง ละ 4 เครื่อง

จากภาพที่ 38 เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองการวัดพลังงานของ virtual machine มาวาดกราฟสังเกตจากกราฟที่รวมผลการทดลองทั้ง 3 เครื่องได้ข้อสังเกตว่าที่การทำงานเริ่มต้นของ utilization ของระบบที่ 10% การใช้พลังงานของโฮสต์ในเครื่องที่มี virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่องและ network จำนวน 1 เครื่องใช้พลังงานน้อยกว่าเครื่องที่มี virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่องและ network จำนวน 3 เครื่อง จุดนี้เป็นข้อบ่งชี้ว่าในการเริ่มต้นการทำงานของ virtual machine ประเภท network จาก utilization 0% ไป 10% มีการใช้พลังงานแบบก้าวกระโดด แต่เมื่อมีการเพิ่ม utilization ของระบบการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จะมีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นไม่มากและเมื่อนำสมการที่ได้จากการเขียนกราฟมารวมจะได้โมเดลการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท hybrid ดังนี้

$$E = \{[(0.012 \times N_{NET}) \times U_{NET}] - [3.1 \times \ln(N_{NET})] + 17.5\} + \{(0.1 \times \ln(N_{CPU})) + 0.1\} \times U_{CPU} + E_i \quad (12)$$

โดยที่ E คือ พลังงานที่ใช้ไปของเครื่อง server

$N_{CPU}$  คือ จำนวนเครื่อง virtual machine ประเภท CPU

$U_{\text{CPU}}$  คือ ขนาดของ workload ของ CPU บน virtual machine

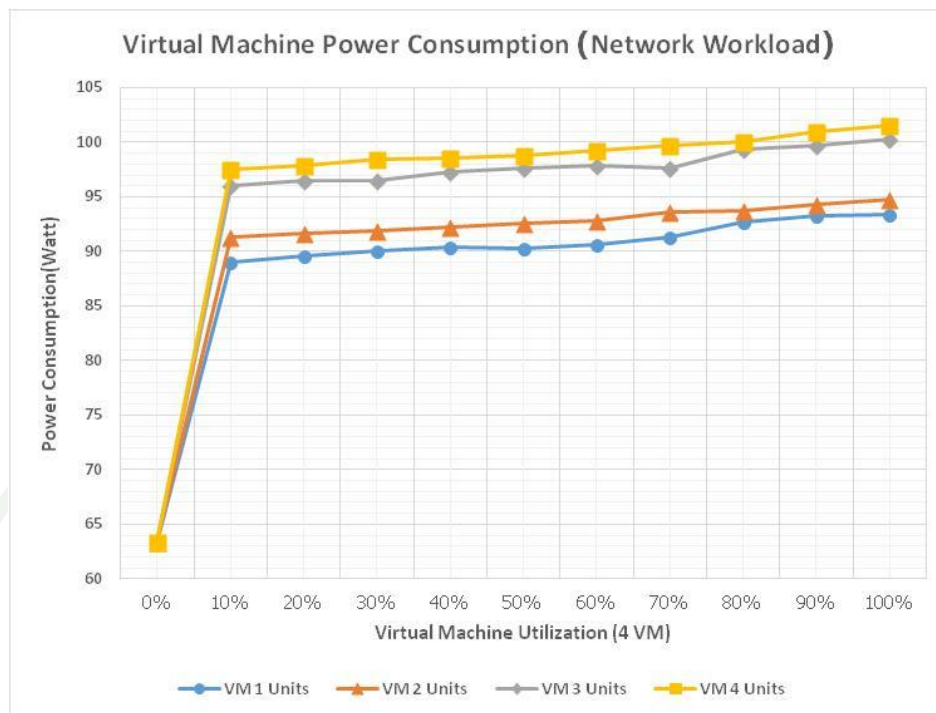
$N_{\text{NET}}$  คือ จำนวนเครื่อง virtual machine ประเภท network

$U_{\text{NET}}$  คือ ขนาดของ workload ของ network บน virtual machine

$E_i$  คือ พลังงานเริ่มต้นของเครื่องในขณะที่ไม่มีการทำงาน

### วิจารณ์

จากการทดลองสรุปได้ว่าการใช้พลังงานของ virtual machine บนเครื่องโฮสต์บน cloud computing สามารถนำมาวิเคราะห์เป็นโมเดลการใช้พลังงานของ virtual machine บนเครื่องโฮสต์ได้ตามรูปแบบประเภทของ virtual machine โดยวัดค่าการใช้พลังงานได้จากปริมาณการทำงานของ virtual machine หรือ workload โดยสามารถแบ่งประเภทการใช้งานของ virtual machine เพื่อให้สามารถจำแนกค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งการใช้พลังงานโดยเพิ่มขนาดของ utilization ของ virtual machine ในแต่ละประเภท ไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มการใช้พลังงานของเครื่องโฮสต์แบบ linear regression ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งจากกราฟที่วัดค่าได้จากโมเดลของการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network มีข้อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานของ virtual machine ประเภทนี้จากสถานะที่ idle เปลี่ยนเป็น active ที่ workload 10% มีการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานของ virtual machine ที่สูงแบบก้าวกระโดด



ภาพที่ 39 แสดงการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 ถึง 4 เครื่อง

จากภาพที่ 39 แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานที่สูงแบบก้าวกระโดดจาก network utilization 0% เปลี่ยนเป็น network utilization 10% มีการการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปสูงประมาณ 30 วัตต์ แต่ในขณะที่เพิ่ม network utilization จาก 10% เปลี่ยนเป็น network utilization 100% กลับมีการใช้พลังงานต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จากจำนวน 2 เครื่องเป็น 3 เครื่องมีการใช้พลังงานในอัตราที่สูงกว่าเพิ่มจาก 1 เครื่องเป็น 2 เครื่องหรือจาก 3 เครื่องเป็น 4 เครื่อง ซึ่งน่าจะเกิดจากการ load balance ของตัว VMM เป็นตัวจัดสรรทรัพยากรของโฮสต์ให้เหมาะสมกับสภาพ workload ในขณะนั้นๆ

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การนำเสนอวิธีการและขั้นตอนในการคิดหาโมเดลในการวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine บนระบบ cloud computing โดยมีความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานของเครื่อง server ,จำนวน virtual machine และขนาดของ utilization เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อมีการใช้งาน virtual machine ในระบบเมื่อมีการร้องขอการใช้ virtual machine ตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งในองค์กรที่มีการใช้งาน cloud computing จะมีรูปแบบการใช้งาน virtual machine ที่แน่นอนสำหรับผู้ใช้งานในองค์กรหรือแม้แต่ผู้ให้บริการ cloud computing ก็จะมีรูปแบบและราคาของเครื่อง virtual machine ที่เป็นมาตรฐานให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ เช่น มี virtual machine ที่มีประเภทเป็น web server เป็นต้น

### ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเพื่อคิดค้น โมเดลการใช้พลังงานของ virtual machine บน cloud computing มีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณของเครื่องโฮสต์ที่นำมาทำการทดลองและเวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละครั้งมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถสร้างรูปแบบประเภทของ virtual machine ได้หลากหลายมากกว่านี้ รวมถึงข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าพลังงานของ virtual machine จากทดลองมีการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ดังนั้นเพื่อความเที่ยงตรงของข้อมูลหากสามารถทำการทดสอบได้มากกว่าขึ้นไปในแต่ละเคสก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น

ส่วนในการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อได้ด้วยการเพิ่มประเภทของเครื่อง virtual machine และขนาดของเครื่องโฮสต์ให้สามารถรองรับการทำงานที่หลากหลายได้มากขึ้น ก็จะทำให้สามารถคิดรูปแบบโมเดลการใช้พลังงานที่สามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ถูกต้องและหลายหลายมากยิ่งขึ้น

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Wikipedia. 2012. **Cloud Computing**. Available source:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing), 8 July 2014.

Peter Mell, Timothy Grance. 2011. **The NIST Definition of Cloud Computing**. NIST Special Publication: 800-145.

Luiz André Barroso, Urs Hölzle. 2007. **The Case for Energy-Proportional Computing**. the IEEE Computer Society: 0018-9162/07.

Anton Beloglazov, Rajkumar Buyya. 2011. **Optimal Online Deterministic Algorithms and Adaptive Heuristics for Energy and Performance Efficient Dynamic Consolidation of Virtual Machines in Cloud Data Centers**. CONCURRENCY AND COMPUTATION: PRACTICE AND EXPERIENCE Concurrency Computat.: Pract. Exper. 2011; 00:1–24.

Jerry Hester. 2006. **Physics Tutorial: Linear Regression**.

<http://www.clemson.edu/ces/phoenix/tutorials/regression/index.html>, 2006 Clemson University. All Rights Reserved. Photo's Courtesy Corel Draw.

Shi, Y., Jiang, X., & Ye, K. September, 2011. **An energy-efficient scheme for Cloud resource provisioning based on Cloudsim**. In Cluster Computing (CLUSTER), 2011 IEEE International Conference on (pp. 595-599). IEEE.

Srikantaiah Shekhar, Aman Kansal, and Feng Zhao., **Energy aware consolidation for cloud computing**. Proceedings of the 2008 conference on Power aware computing and systems. USENIX Association, 2008.

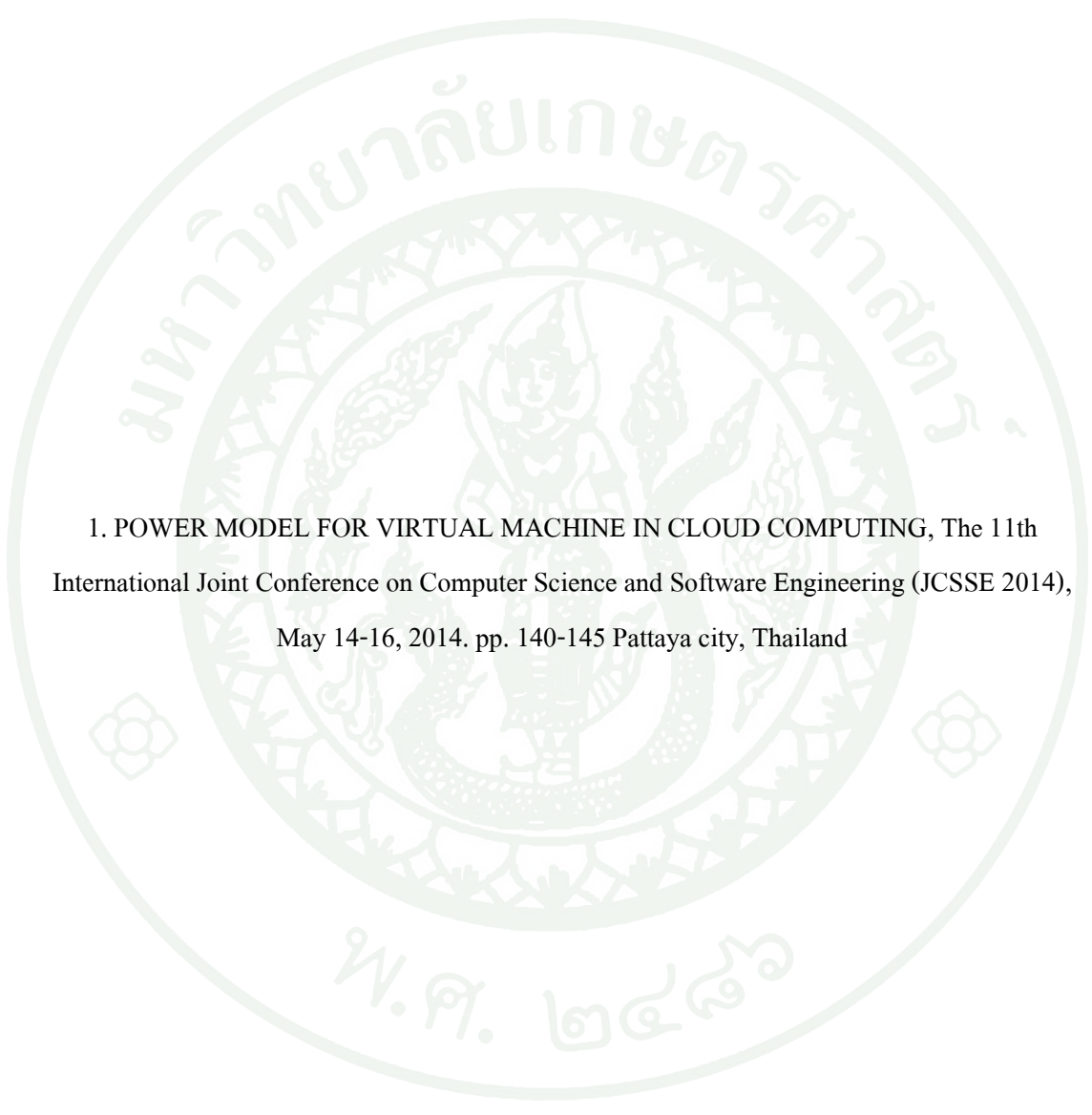
- Jamal M.H, Mustafa G, Waheed A, Mahmood W; , **An extensible infrastructure for benchmarking Multi-core Processors based systems**, Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems, 2009. SPECTS 2009. International Symposium on , vol.41, no., pp.13-20, 13-16 July 2009.
- Hewlett-Packard Company. 1995. **Netperf: A Network Performance Benchmark**. Available source: <http://www.netperf.org/netperf/training/Netperf.html>, 16 July 2009.
- Kliazovich, Dzmitry, Pascal Bouvry, and Samee Ullah Khan. **GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers**. The Journal of Supercomputing 62.3 (2012): 1263-1283.
- VMWare. 2007. **Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist**. Available source: <http://www.vmware.com/resources/techresources/1008>, 8 July 2014.
- Annie Shum. 2012, **A Measured Approach To Cloud Computing**. Available source: [http://www.bsmreview.com/bsm\\_cloudcomputing.shtml](http://www.bsmreview.com/bsm_cloudcomputing.shtml), 8 July 2014.
- Kamil Shafiq. 2013, **Clearing the Cloud: Mistakes, Misconceptions and Misuses With Cloud Computing**. Available source: <http://www.webnotwar.ca/clearing-the-cloud-mistakes-misconceptions-and-misuses-with-cloud-computing>, 10 July 2014.
- Paul Strassmann. 2011, **Why Cloud Computing Will Take a Long Time**. Available source: <http://pstrassmann.blogspot.com/2011/06/why-cloud-computing-will-take-long-time.html>, 8 July 2014.
- Wikipedia. 2014. **Linear regression**. Available source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Linear\\_regression](http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression), 17 July 2014.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ผลงานตีพิมพ์



1. POWER MODEL FOR VIRTUAL MACHINE IN CLOUD COMPUTING, The 11th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2014), May 14-16, 2014. pp. 140-145 Pattaya city, Thailand

# Power Model for Virtual Machine in Cloud Computing

Satit Chinprasertsuk  
Department of Computer Science  
Kasetsart University  
Bangkok, Thailand  
s.chinprasertsuk@gmail.com

Sethavidh Gertphol  
Department of Computer Science  
Kasetsart University  
Bangkok, Thailand  
fscisvg@ku.ac.th

**Abstract**— Cloud computing has potentials to reduce energy consumption cost for the providers by intelligently allocating virtual machines to energy efficient servers. This paper proposes a new method to create an energy model that describes a direct relationship between resource utilization in the VM and the energy consumption by the host. With the model it is possible to estimate how much energy a server will consume if it accommodates a specific number of VMs, each with a specific resource utilization. This work also investigated the power consumption of a server when different combinations of VMs with different utilization are running on it. The result shows that the energy consumption varies non-linearly with the number of VMs allocated on that host.

**Keywords**—Cloud Computing; Virtual Machine; Energy efficiency; Power Consumption

## I. INTRODUCTION

Cloud computing [1], [2] has become an interesting and exciting platform for computing nowadays. Cloud providers leverage the resource pooling and distribution of virtual machines in the Cloud to support end users with quick configuration and deployment, together with elastic scaling with regards to changing workload.

The Cloud has potentials to reduce energy consumption cost for the providers by several techniques, such as virtual machines consolidation or allocation algorithms that move virtual machines to more energy efficient servers. Usually a server can be measured for its energy consumption at several physical resource utilization levels [3]. This information can be combined to create a power profile of that server.

However, since the working unit of Cloud computing is a virtual machine (VM), the relationship between energy consumption of a physical server and the utilization of virtual machine resource is less clear. Furthermore, there could be many VMs running on the same server using different resources. Without a direct model, an administrator who wants to move a VM to a new machine cannot know how much energy the server has to spend to accommodate that VM.

This paper proposes a new method to evaluate and create an energy model that describes a direct relationship between

resource utilization in the VM and the energy consumption by the host. With the model it is possible to estimate how much energy a server will consume if it accommodates a specific number of VMs each with a specific resource utilization. The model is correct with respect to specific configurations of the VMs; however, there can be many VM configurations. The method creates a model by testing several combinations of VMs allocation on a single host for its energy consumption and deriving energy consumption equation from the results.

Another purpose of this work was to investigate the power consumption of a server when different combinations of VM with different utilization are running on it. We focused on two types of resources: CPU and network. The result shows that the relationship between energy consumption and the number of VMs allocated on that host is not linear but follows a natural logarithm function. Furthermore, a network resource has a higher energy consumption even with low utilization, but additional utilization does not increase energy consumption as much.

This paper is organized as follows. Section II describes some work related to this paper. Section III and IV explain the tools used to measure energy consumption and the experimental setup, respectively. Section V shows experimental results, while Section VI discusses the results. Section VII concludes the paper.

## II. RELATED WORK

Srikantaiah et al. [5] measured an energy usage per transaction of a host at several CPU and disk utilization levels. At low utilization levels, the energy consumed per transaction was very high because there were few transactions. Also when the utilizations were high the server consumed a lot of energy and caused the energy per transaction to be high, even though there were many transactions. The paper concluded that there was a "sweet spot" around 50-70% utilization where the energy usage per transaction was lowest. The resources considered in this paper are CPU and Disk utilization.

JouleMeter [9] is a tool that can be used to estimate the energy consumption of a virtual machine in Cloud computing. It uses a model learning technique to adjust and refine the ba

model according to workload generated by SPEC CPU 2006 benchmark and IOMeter. It considers 3 resources: CPU, Memory, and I/O.

There are several benchmarks used to measure specific area of computer. For example, STREAM [4] is a tool used to measure the memory usage of a single core CPU or Netperf [7] is used to measure the amount of data transferred in the network. MPAC [4] is another tool that can measure CPU and network performance. This paper makes use of the MPAC benchmark.

The VMWare VMMark [11] is a benchmark used to measure the performance of consolidated virtual servers. A tile is a collection of six servers: Mail, Java, Web, Database, File, and Standby servers. The virtual machines for each server and its workload are pre-configured according to the benchmark criteria. A tile is allocated to one physical machine. Then the workload is introduced to the servers and the performance of each server is recorded. Comparing to our work, VMMark categorizes a server based on its role, while our work differentiates the servers by resources used. Furthermore, this work is concern with performance, while our work focuses on energy consumption.

Recently the newest tool is cpufreq [12]. It's a utilities designed to manage with CPU frequency scaling. It is unfortunately while we setup this experiment we only known MPAC tool.

### III. TOOLS

#### A. Hardware

The server which was to be measured for energy consumption was an Intel Core i7 3770 with 3.4 GHz clock frequency and 8 GB of RAM. It had two 80GB hard disk mounted in RAID 0 configuration and four Gigabit LAN cards. We installed VMWare ESXi 5.0.0.623860 as the hypervisor. The server received electrical power from an outlet with a multi-function mini Watt attached. The Watt meter measured the actual amount of energy used by that outlet.

A virtual machine was configured with a single core CPU with 3.4 GHz clock, 1GB RAM, and 1 Gigabit LAN card. Please note that the CPU clock frequency of the VM matches the CPU clock frequency of the server. CentOS6.3 was installed as an OS for the VM. We also installed a standard C library, MPAC benchmark, iptraf, and cpufreq tools on the VM.

To evaluate the power consumption when the server communicated with other host, we setup another client machine with an Intel Core i7 4770 CPU, 8GB RAM, two 80GB hard disks in RAID 0 configuration, and two Gigabit LAN card. We installed Windows 7 SP1 as a host OS and installed CentOS 6.3 as a guest OS using Oracle VM VirtualBox. MPAC tool was also installed in the guest OS.

We implemented VMWare ESXi version 5.0 on server, CentOS Operating System in virtual machine and MPAC Benchmarking Suite version 1.2 [4] on each virtual machine.

TABLE I. SUMMARIZES THE HARDWARE SPECIFICATIONS OF SERVER, CLIENT AND VIRTUAL MACHINE

	Server	Virtual Machine	Client
CPU	Intel Core i7 3770 3.4 GHz	Single Core 3400 MHz	Intel Core i7 4770
Memory	8 GB	1 GB	8 GB
Harddisk	80 GB x2 Raid 0	20 GB	80 GB x 2
Network Card	4 x Gigabit LAN	1 x Gigabit LAN	2 x Gigabit LAN
OS	VMWare ESXi 5.0.0.623860	CentOS 6.3, iptraf	Windows 7 SP1
Software	-	MPAC Benchmark 1.2	Oracle VM VirtualBox 4.2.14, Cent OS 6.3

#### B. Software

The installation of virtual machine on server is done by creating master disk from the CentOS 6.3 32 bits operating system then installs MPAC Benchmark, C Library, iptraf, and cpufreq tools. The experiment is divided into cases based on the utilization as listed below.

##### 1) Virtual Machine workload by CPU utilization

We used MPAC benchmark suite to generate CPU and Network workload for each VM. The CPU workload can be created by the following command.

```
./mpac_cpu_bm -n <#A> -r <#B>
```

- #A is the number of threads which was set to 1 in our case
- #B is the number of iterations to execute the workload, which is set to 10000000 in our case

MPAC benchmark will use all available CPU clock cycles to execute the workload. We can limit the amount of CPU utilization that the benchmark can use by a tool called cpufreq. The cpufreq tool was developed to control dynamic CPU frequency scaling in Linux platform. It can adjust the CPU frequency automatically according to workload and, specifically for our work, can also fix the frequency of the CPU at the user-specific level. The syntax of cpufreq is as follows.

```
cpupower frequency-set --min <#C> --max <#D>
```

- #C is the number of minimum frequency which was set to 1 in our case
- #D is the number of maximum frequency which was set up based on CPU Utilization and CPU frequency

Thus, if we want to limit the CPU utilization to 10% on our VM, we can issue the following command.

```
cpupower frequency-set --min 1 --max 340000
```

##### 2) Virtual Machine workload by Network utilization

MPAC benchmark can also be used to create workload for network. We have to run the MPAC benchmark on both the

VM and the client to test the network. On the VM which was the receiving end, we issued the following command.

a) Server

```
./mpac_net_bm -c <#A> -e <#B> -b <#C> -l <#D> -t <#E>
```

- #A is the type of communication on the receiving side, which was R in our case
- #B is the execution mode, which was T (Time-Based) in our case
- #C is the size of receiving buffer, which was 16,384 Bytes in our case
- #D is the number of thread, which was set to 1
- #E is a protocol identifier, which was set to 1 it's mean UDP.

b) Client

Then the client will send packet to the running server in virtual machine by using below command.

```
./mpac_net_bm -c <#A> -d <#B> -s <#C> -t <#D> -l <#E> -i <#F>
```

- #A is the type of communication for the sender, which was set to S
- #B is the test duration in seconds, which was set to 3600
- #C is the size of message in byte, which was set to 50
- #D is the protocol identifier, which was set 1 to UDP
- #E is the number of threads, which was set to 1
- #F is the IP address of the receiver

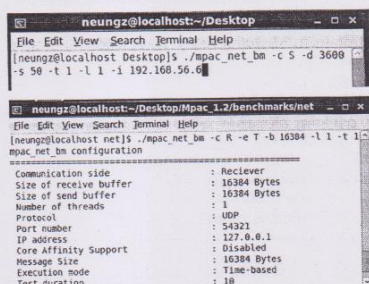


Fig. 1 Send and Receive command workload packet of virtual machine

To limit the network utilization, we manually set the size of message such that the network utilization remained at the level we required. We used the tool "iptraf" on the VM to measure the network utilization.

When using MPAC benchmark to test network performance, there was a slight CPU utilization of the VM at

around 3-7% only. This small CPU usage should have a very little impact to the energy consumption measurement.

IV. EXPERIMENT SETUP

To measure energy consumption of different type of VMs, we divided the experiment into three sets: CPU-only VMs, network-only VMs, and hybrid VMs. For CPU-only and network-only experiments, we created 4 scenarios with 1, 2, 3, and 4 VMs instantiated on the server. In each scenario, we conducted 11 tests, each at every 10% interval of the VM's CPU or network utilization (including the idle or 0% utilization). For each test, we let the VMs run for 30 minutes and recorded the total power used as reported by the Watt meter. Each test was repeated three times.

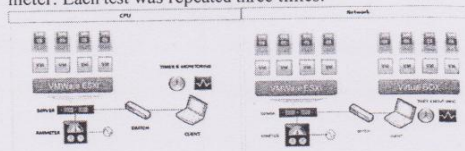


Fig. 2 Experiment setup diagram for CPU (left side) and Network (right side) scenarios

For the hybrid experiment, we created 3 scenarios with 4 VMs each, but the VMs used different resources. Namely, the first scenario had 1 CPU VM and 3 network VMs, the second scenario had 2 CPU VMs and 2 network VMs, and the third scenario had 3 CPU VMs and 1 network VM. The tests were conducted at every 10% VM utilization interval (CPU and network utilizations were increased in lock-step.) The VMs were left to run for 30 minutes and the amount of power used were recorded. Again, each test was repeated 3 times.

Please note that the number recorded from each test will be multiply by 2 to get the power usage in Watt. We reduce the running time of VM to 30 minutes instead of 1 hour to save time.

V. RESULT

A. CPU-only VMs

Table II shows the result of the CPU-only experiment with 1 to 4 VMs at each 10% CPU utilization interval. The values shown are the median of the energy consumption at each interval if we let the VMs run for 1 hour. We used the median value because the number of repeated tests is small (only 3 tests) so the median value is more robust with regard to possible measurement errors. For example, three tests with 2 CPU-only VMs running at 50% CPU utilization resulted in the energy consumption of 83.13, 83.13, and 86.6 Watts. If we used an average, the value would be 84.28. However, it is highly likely that the value 86.6 Watts of the third run might contain a measurement error. Thus, a median of 83.13 is more reasonable. Note that SPEC also uses median [10] as the representative value in their benchmark too.

TABLE II. ENERGY CONSUMPTION OF CPU UTILIZATION ON VIRTUAL MACHINE

VM Utilization	Power Consumption (Watt)			
	1	2	3	4
0%	63.40	63.40	63.40	63.40
10%	65.37	67.27	69.60	73.93
20%	67.73	72.40	76.27	80.03
30%	69.73	76.17	82.17	85.67
40%	71.43	80.10	86.27	89.50
50%	73.70	83.13	90.13	94.00
60%	75.80	86.00	93.47	98.63
70%	77.63	90.20	96.77	101.53
80%	79.70	92.07	99.77	105.63
90%	83.17	93.40	102.33	110.03
100%	87.90	98.53	107.33	115.73

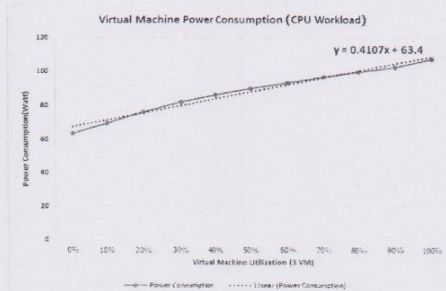
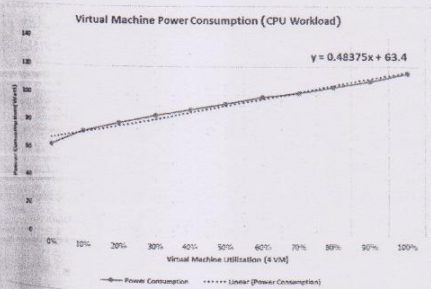
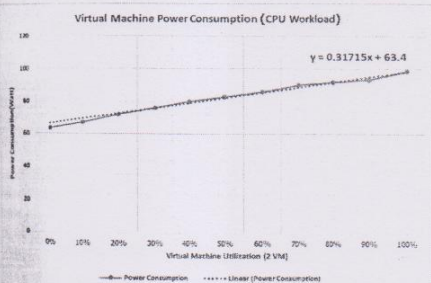
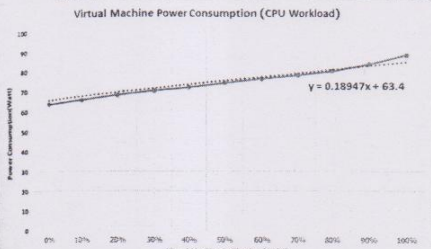


Fig. 3 The graph shows the energy of the virtual machine level of CPU utilization.

Fig 3 plot the energy consumption as the CPU utilization of VMs increases in 1, 2, 3, and 4 VMs experiment respectively. We also inserted the linear regression [8] line estimating the energy consumption slope of each experiment. From the Fig 3 we determine the slope to be 0.18947, 0.31715, 0.41070, and 0.48375 for 1, 2, 3, and 4 VMs respectively. The y-intercept of all Figures is 63.4, which is the power consumption at idle (0% CPU utilization). The four equations are listed as follows.

- 1 unit  $E = 0.18947 \times U_{VM} + 63.4$  (1)
- 2 units  $E = 0.31715 \times U_{VM} + 63.4$  (2)
- 3 units  $E = 0.41070 \times U_{VM} + 63.4$  (3)
- 4 units  $E = 0.48375 \times U_{VM} + 63.4$  (4)

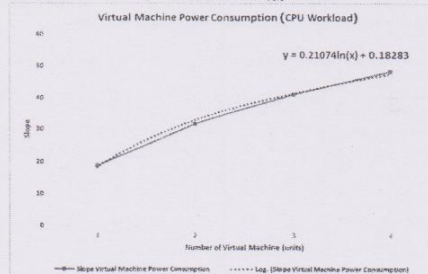


Fig. 4 Slope for the energy analysis of the Virtual Machine

In Fig 4, we plotted the slope determined in Fig 3 against the number of VMs. It is very interesting to see that the data points do not follow a linear line, but instead have a slight downward curve. By best-fitting an equation to estimate the slope, we arrived at a natural logarithm function,  $y = 0.21074 \ln(N) + 0.18283$  where N is the number of VMs. Thus, combining this new equation with the previous one, we have an equation to estimate the energy used by the server running N virtual machine and U CPU utilization as follows.

$$E = \{[(0.21074 \times \ln(N)) + 0.18283] \times U_{VM}\} + E_i \quad (5)$$

E = The energy usage of host.  
 N = Number of VM  
 U<sub>VM</sub> = Virtual Machine CPU Utilization

$E_i$  = Energy on idle status

B. Network-only VMs

Table III shows the median value of the energy consumption of the Network-only experiment with 1 to 4 VMs at every 10% network utilization interval. Fig 5 plots the value into the graph. The most interesting feature of Fig 5 is the huge jump of energy consumption from 0 to 10% network utilization together with relatively shallow slopes after 10% onward. This means that the actual use of network weighs much more than how much we use the network when determining the energy consumption. Specifically, an increase from 10% to 100% network utilization only increases the energy consumption by less than 5 Watts, but a use of network at all (from 0% utilization to 10%) increases energy consumption by almost 30 Watt.

By inserting linear regression lines to determine the slope and plotting the slope against the number of VMs, we can derive the energy consumption equation with N virtual machines and  $U_{net}$  network utilization as follows. Note that the equation is not very accurate at low network utilization and especially at 0% due to the aforementioned jump.

TABLE III. ENERGY CONSUMPTION OF NETWORK UTILIZATION ON VIRTUAL MACHINE

Network Utilization	Power Consumption (Watt)			
	1	2	3	4
0%	63.40	63.40	63.40	63.40
10%	89.03	91.27	96.03	97.53
20%	89.57	91.70	96.53	97.87
30%	90.10	91.93	96.47	98.40
40%	90.40	92.27	97.27	98.50
50%	90.23	92.53	97.67	98.77
60%	90.60	92.83	97.90	99.30
70%	91.33	93.63	97.60	99.70
80%	92.73	93.77	99.33	100.10
90%	93.23	94.30	99.67	100.93
100%	93.40	94.73	100.23	101.57

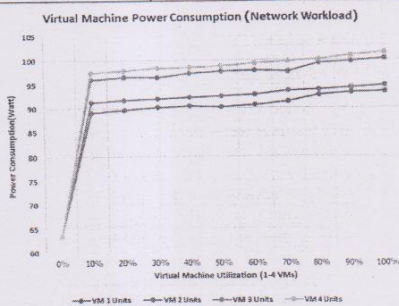


Fig. 5 The graph shows the energy of the virtual machine level of Network utilization

In Fig 5, Network utilization since 0% to 10% has high of slope in graph. It means that in idle state of network utilization to working state, server use a lot of power to change state and after that state it use a little of power in increasing network utilization. According to the result in graph, we analyze each line of graph and summarize it in formula by using logarithm function to create a standard equation of this graph. The equation is

$$E = \{[(0.0245 \times N) \times U_{net}] - [6.255 \times \ln(N)]\} + 35.035 + E_i \quad (6)$$

- E = The energy usage of host.
- N = Number of VM
- $U_{net}$  = Network Utilization
- $E_i$  = Energy on idle status

C. Hybrid VMs

Table IV shows the energy consumption of server with CPU-only and network-only VMs running side-by-side. The total number of VMs is fixed at 4 VMs, but the CPU/Network number of VMs were from 2/2, 3/1, and 1/3, respectively. The VM CPU and Network utilization were increased together. Namely, a 30% utilization resulted in 30% CPU utilization on the CPU-only VM and 30% network utilization on the Network-only VM.

TABLE IV. ENERGY CONSUMPTION OF HYBRID UTILIZATION ON VIRTUAL MACHINE

VM Utilization	Power Consumption (Watt)		
	2/2	3/1	1/3
0%	63.40	63.40	63.40
10%	88.03	82.37	92.87
20%	89.80	86.80	94.40
30%	92.40	90.70	95.57
40%	95.60	94.53	96.50
50%	98.60	97.37	97.77
60%	101.40	100.67	98.73
70%	104.67	103.23	99.20
80%	107.03	106.57	100.77
90%	108.40	109.43	101.80
100%	110.60	113.53	102.93

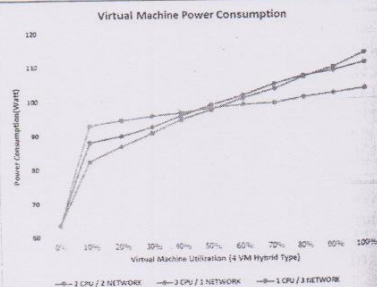


Fig. 6 The graph shows the energy of the virtual machine level of Hybrid utilization

Fig 6 plots the data point from Table IV. At low utilization a server with 3 CPU/ 1 Network VMs used less energy than the one with 1 CPU/3 Network VMs, but at high utilization the server with 3 CPU/ 1 Network VMs used more energy. This is due to the jump of energy consumption of network VM from 0% utilization and the relatively shallow energy usage slope of Network-only VMs. By using linear regression and determining an equation for slope, we derived an equation to estimate the energy used based on the number and type of VMs and their utilization as follows.

$$E = \{(0.012 \times N_{net}) \times U_{net}\} - \{3.1 \times \ln(N_{net})\} + 17.5 + \{(0.1 \times \ln(N_{cpu}) + 0.1) \times U_{cpu}\} + E_i \quad (7)$$

$E$  = The energy usage of host.  
 $N_{cpu}$  = Number of CPU VM  
 $U_{cpu}$  = CPU Utilization  
 $N_{net}$  = Number of Network VM  
 $U_{net}$  = Network Utilization  
 $E_i$  = Energy on idle status

## VI. DISCUSSION

We believe that there are two important findings from this research. The first one is the fact that allocating additional VMs onto a server does not increase the power consumption linearly. The equation derived from our experiment shows a natural logarithm relation between the number of VMs and energy consumption. This relationship is the same whether VMs use CPU or Network resources or both. This finding strongly supports the consolidation strategy because allocating two VMs on the same server results in less than twice the energy used compared to allocating only one VM. Thus, it is better to put two VMs on one server instead of one VM on two servers each. This is true even if we do not turn off any server at all.

The second important finding is the huge jump of energy consumption and shallow energy used slope when network resource is used. This implies that we should group VMs that uses network resources together, because the increase in energy consumption is not much even when network utilization is much higher. Additionally, we should not mix VMs using CPU with a VM using network, because only 1 network-using VM can increase the energy consumption of that server by a large amount.

## VII. CONCLUSION

This paper proposes a new method to measure energy consumption of a server based on the utilization of virtual machines running on that server. This method tries to establish a direct relationship between energy used and virtual machine's utilization instead of relying on server's utilization. Server administrators using our method can create a power profile of their servers based on VM utilizations and thus can

calculate how much energy this server will use if we allocate a VM with specific utilizations on that server.

Of course, each server and VM configuration combination will result in different power profile and there can be enormous combinations. To create a profile for every combination may prove too time-consuming. However, most Cloud providers do not allow users to create any type of VMs freely, but instead let users choose from preconfigured VMs instead. Furthermore, there is a movement to standardize VM types, for example, a VM for a database server or a VM for a web server. These two choices can help reduce the number of profiles to be created substantially.

Our model is limited due to the large amount of time required for testing. The most limiting is that the model does not allow VM utilization to be different from one another. From the experimental results, it might be possible to derive an equation allowing different utilization of the same resource, however, there probably needs to be additional experiments to derive energy consumption equation with different utilization of more than one resource.

## REFERENCES

- [1] Peter Mell, Timothy Grance. 2011. The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special Publication: 800-145.
- [2] Cloud Computing. [update Sunday, 20 September 2009] Available at URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing)
- [3] SPEC Power and Performance Benchmark Methodology V2.1, Standard Performance and Evaluation Corporation (SPEC), 2011.
- [4] Jamal, M.H.; Mustafa, G.; Waheed, A.; Mahmood, W.; , An extensible infrastructure for benchmarking Multi-core Processors based systems, Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems, 2009. SPECTS 2009. International Symposium on , vol.41, no., pp.13-20, 13-16 July 2009
- [5] Srikantaiah, Shekhar, Aman Kansal, and Feng Zhao. Energy aware consolidation for cloud computing. Proceedings of the 2008 conference on Power aware computing and systems. USENIX Association, 2008.
- [6] Xinhui Li, Ying Li, Tiancheng Liu, Jie Qiu, Fengchun Wang, IBM China Research Lab, BJ, 100193, China. The Method and Tool of Cost Analysis for Cloud Computing. IEEE International Conference on Cloud Computing, IEEE, pages 93-100, 2009.
- [7] Hewlett-Packard Company, Netperf: A Network Performance Benchmark, Feb. 1995. Available on-line from: <http://www.netperf.org/netperf/training/Netperf.html>
- [8] Physics Tutorial: Linear Regression. 2006. Jerry Hester. <http://www.clemson.edu/ces/phoenix/tutorials/regression/index.html>, 2006 Clemson University. All Rights Reserved. Photo's Courtesy Corel Draw.
- [9] Aman Kansal, Feng Zhao, Jie Liu, Nupur Kothari, and Arka A. Bhattacharya. 2010. Virtual machine power metering and provisioning. In Proceedings of the 1st ACM symposium on Cloud computing (SoCC '10). ACM, New York, NY, USA, 39-50.
- [10] SPEC CPU2006 Run and Reporting Rules. [update Sunday, 20 September 2009] Available at URL: <https://www.spec.org/cpu2006/Docs/runrules.html>
- [11] V. Makhija et al. VMmark: A scalable benchmark for virtualized systems. Technical report, VMWare, 2006.
- [12] V. Pallipadi and A. Starikovskiy. The ondemand governor: past, present and future. In Proceedings of Linux Symposium, vol. 2, pp. 223-238, 2006



ตารางผนวกที่ ข12 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	65.18	65.37	65.80
20%	67.50	67.73	67.80
30%	69.60	69.73	70.20
40%	71.41	71.43	71.44
50%	73.50	73.70	74.00
60%	75.50	75.80	75.80
70%	77.28	77.63	78.01
80%	79.10	79.70	80.10
90%	83.00	83.17	83.43
100%	87.90	87.90	88.12

ตารางผนวกที่ ข13 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	67.00	67.27	67.50
20%	72.13	72.40	72.80
30%	76.00	76.17	76.47
40%	79.92	80.10	80.70
50%	83.10	83.13	83.13
60%	85.60	86.00	86.10
70%	90.10	90.20	90.30
80%	92.02	92.07	92.30
90%	93.30	93.40	93.90
100%	98.50	98.53	98.88

ตารางผนวกที่ ข14 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	69.20	69.60	69.68
20%	76.03	76.27	76.50
30%	80.01	82.17	82.50
40%	86.10	86.27	88.07
50%	89.90	90.13	90.23
60%	93.20	93.47	93.50
70%	96.75	96.77	96.90
80%	99.64	99.77	99.80
90%	102.10	102.33	102.66
100%	107.13	107.33	107.40

ตารางผนวกที่ ข15 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 4 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	73.40	73.93	74.40
20%	79.33	80.03	80.98
30%	85.50	85.67	85.70
40%	89.49	89.50	91.00
50%	93.60	94.00	94.50
60%	98.60	98.63	98.80
70%	101.50	101.53	101.88
80%	105.40	105.63	105.95
90%	110.01	110.03	110.37
100%	114.23	115.73	116.20

ตารางผนวกที่ ข16 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 1 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	88.90	89.03	89.40
20%	89.49	89.57	89.59
30%	89.68	90.10	90.11
40%	90.29	90.40	90.41
50%	90.21	90.23	90.43
60%	90.60	90.60	90.84
70%	91.02	91.33	91.39
80%	91.90	92.73	92.77
90%	93.01	93.23	93.38
100%	93.35	93.40	93.86

ตารางผนวกที่ ข17 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 2 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	91.20	91.27	91.28
20%	91.70	91.70	92.00
30%	91.80	91.93	92.05
40%	92.10	92.27	92.36
50%	92.45	92.53	92.55
60%	92.81	92.83	92.83
70%	93.56	93.63	93.77
80%	93.68	93.77	93.90

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
90%	93.95	94.30	94.75
100%	94.70	94.73	94.85

ตารางผนวกที่ ข18 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 3 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	95.89	96.03	96.30
20%	96.35	96.53	96.55
30%	96.45	96.47	96.70
40%	97.21	97.27	97.50
50%	97.58	97.67	97.68
60%	97.70	97.90	97.92
70%	97.59	97.60	97.69
80%	99.09	99.33	99.80
90%	99.64	99.67	100.20
100%	100.20	100.23	100.65

ตารางผนวกที่ ข19 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท network จำนวน 4 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	97.09	97.53	97.60
20%	97.81	97.87	97.87
30%	98.30	98.40	98.45
40%	98.48	98.50	98.56
50%	98.70	98.77	98.79
60%	99.22	99.30	99.36
70%	99.63	99.70	100.02
80%	100.05	100.10	100.30
90%	100.90	100.93	101.00
100%	101.35	101.57	101.69

ตารางผนวกที่ ข20 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 3 เครื่อง และประเภท network จำนวน 1 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	82.30	82.37	82.40
20%	86.59	86.80	87.00
30%	90.50	90.70	91.05
40%	94.39	94.53	94.78
50%	97.34	97.37	97.68
60%	100.40	100.67	100.70
70%	102.95	103.23	103.63
80%	106.33	106.57	106.90

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
90%	109.16	109.43	109.80
100%	113.39	113.53	113.96

ตารางผนวกที่ ข21 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 2 เครื่อง  
และประเภท network จำนวน 2 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	88.00	88.03	88.10
20%	89.55	89.80	89.93
30%	92.25	92.40	92.74
40%	95.30	95.60	96.00
50%	98.42	98.60	98.89
60%	101.00	101.40	101.75
70%	104.39	104.67	104.69
80%	106.93	107.03	107.28
90%	108.11	108.40	108.66
100%	110.40	110.60	111.41

ตารางผนวกที่ ข22 ตารางวัดค่าการใช้พลังงานของ virtual machine ประเภท CPU จำนวน 1 เครื่อง  
และประเภท network จำนวน 3 เครื่อง

VM Utilization	ค่า MIN	ค่า MEDIAN	ค่า MAX
0%	63.30	63.40	63.50
10%	92.50	92.87	93.02
20%	94.34	94.40	94.50
30%	95.50	95.57	96.01
40%	96.42	96.50	96.59
50%	97.71	97.77	97.90
60%	98.58	98.73	99.03
70%	99.10	99.20	99.30
80%	100.53	100.77	100.89
90%	101.36	101.80	101.97
100%	102.80	102.93	103.30

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายสาธิต ชินประเสริฐสุข
วัน เดือน ปีที่เกิด	4 กรกฎาคม 2529
สถานที่เกิด	เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

