ภาคผนวก ก

Performance tradeoff between mobility and voice quality among different VoIP deployment strategies

Performance Tradeoff between Mobility and Voice Quality among Different VoIP Deployment Strategies

K. Lavangnananda, C. Angsuchotmetee, K. Yongsakun, P. Panyato and P. Sawasdimongkol
IP-Communications Lab., School of Information Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bangkok, Thailand
Email: Kitt@sit.kmutt.ac.th, 52432093@st.sit.kmutt.ac.th, 52432084@st.sit.kmutt.ac.th, 52432105@st.sit.kmutt.ac.th and Pantharee.Boom@sit.kmutt.ac.th

***Abstract*— Voice over Internet Protocol (VoIP) is a new paradigm of telephony service. Many organizations nowadays are interested in adopting VoIP. Nevertheless, different deployment strategies exist. This study describes all current possible VoIP deployments (No Mobility, Limited Area Mobility and Full Mobility), their properties and characteristics. It attempts to systematically compare these possible deployments with respect to mobility level and end-to-end voice quality. This was done by means of the popular measures of voice quality, packet discard, packet loss and Mean Opinion Score (MOS). Performance tradeoffs between both aspects are also discussed. Results reveal that Quality of Service (QoS) is satisfactory in No Mobility and Limited Area Mobility deployments. However, this is not the case for Full Mobility deployment using UMTS. The study also pays particular attention on the utilization of the two popular CODEC, G.711 and G.729 among these deployments. Significant findings are discussed and directions for future works are also suggested.**

Keywords- CODEC, Quality of Service (QoS), Voice over Internet Protocol (VoIP), Mean Opinion Score (MOS), Packet Discard, Packet Loss

I. INTRODUCTION

Voice over Internet Protocol (VoIP) [1] is a paradigm shift from current telephony technology. This technology was applied and improved from the circuit switching network, so it is called "Public Switch Telephone Network" (PSTN) into the packet switching network, there are several preferable advantages such as cheaper inter-site call, greater variety of features communication, etc. [1]. Nowadays, considerable numbers of organizations are seeking to adopt or are currently adopting VoIP in their organizations [2].

For a success of adopting VoIP, a suitable method of deployment must be carefully considered. Different strategies of deployment affect the overall performance of the end product in several aspects such as system availability, end-to-end voice communication quality, user agent mobility, etc. There is also a significant performance tradeoff between these aspects which must be taken into account in every VoIP deployment projects.

In this work, the effects of different deployment strategies are studied in two aspects, user agent mobility and end-to-end voice communication quality. All three different deployment strategies currently possible were selected for the study. This study investigates the common expectation that there is a significant performance tradeoff between user agent mobility and voice quality.

This paper is organized as follows. Section 2 introduces the VoIP measures of Quality of Service (QoS) with special emphasis on Mean Opinion Score (MOS). Section 3 describes the three VoIP deployment strategies currently possible as well as pointing out their advantage and shortcomings. The main section of the paper is Section 4 where experimental setups and methodology are illustrated. VoIP quality measurements are also discussed. Results of the study are shown in Section 5 and their implications are discussed in Section 6. Finally, the study is concluded and future work is suggested in Section 7.

II. VOIP MEASURES OF QUALITY

The current recognized and popular measurements of speech quality in VoIP are Mean Opinion Score (MOS) [3], Perceptual Speech Quality Measure (PSQM) [4], and Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) [5] that defined by Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) in International Telecommunication Union (ITU). Among these existing measurements, MOS is the most commonly used and referred to. MOS can be measured by both subjectively and objectively. As subjective measurement requires a group of human listening and scoring of voice/speech signals. It is not a popular method. Objective measurement is, however, less time consuming and less costly and hence it is a more popularly used for MOS. Another version of objective MOS is the E-model based MOS. It is the network planning model defined in ITU-T recommendation G.107 [6]. The primary output from the E-model is rating factor *(R)* and can be used to estimate MOS.

The relationship between MOS and user satisfaction [6] is shown in Table 1.

TABLE I. RELATIONSHIP BETWEEN MOS AND USER SATISFACTION

MOS value	User satisfaction
4.34 – 5.00	Very satisfied
4.03 – 4.33	Satisfied
3.60 – 4.02	Some users dissatisfied
3.10 – 3.59	Many users dissatisfied
- 3.09	Nearly all users dissatisfied

At present, the acceptable MOS, as recommended by ITU-T, is 3.60. As any score lower than 3.60 is deemed unacceptable for good understanding for human conversation.

978-1-61284-486-2/11/$26.00 ©2011 IEEE

Good quality of voice is certainly vital in VOIP system. Therefore, measuring VOIP quality attracted numerous researchers in this field. However, environment, in which VOIP system is deployed, plays an important role in accessing the quality. In other words, VOIP quality measurement depends on the environment it is deployed as well as the intended application. VOIP quality measurement in Wired LAN can be found in [7] where as in Wireless LAN can be found in [8],[9]. The introduction of 3G technology attracted much interest in this respect, especially in developing countries. Example of such works are [10] and [11].

There are several parametric attributes related QoS in VoIP such as MOS, rating factor, package discard, package loss, jitter, background traffic, access contention, etc. In this study, package discard, package loss and MOS were selected as measurements for VoIP quality as they are probably the three attributes which are of interest among the VoIP community and can accurately reflect the QoS.

III. VoIP Deployment Strategies

For a general user's perspective, VoIP is considered as a telephony service via IP addresses regardless how the system is implemented. From implementation's perspective, however, it is a critical issue as it directly influences the QoS. There has been very few literatures which emphases QoS from this perspective. This study also pays a particular emphasis on how VoIP system is deployed. To date, deployment of VoIP can be categorized into three types with respect to it mobility, these are *No Mobility*, *Limited Area Mobility* and *Full Mobility*.

A. No Mobility Deployment

This deployment is the simplest where installation of a particular network is fixed. This implies that no mobility is possible among equipments used. Ethernet cables can connect all PC and Headphones, etc. locating at different positions together forming a stationary network. Apart from being the simplest, this deployment offers high reliability, speed and security. However, relocating equipments within the network is more difficult as wiring system is required. This deployment is suitable for offices and sections within a large organization with fixed layout such as banks and industrial plants.

B. Limited Area Mobility Deployment

This deployment takes advantage from wireless service network available within limited area which is covered by access point(s). This allows Softphones to be installed in equipments such as Notebooks and Tablets, enabling them to act as telephones. Equipments are connected by means of wireless technology, one of the most popular of such technology is WIFI (802.11). This deployment is appropriate within organizations or areas whose offices are not stationary or temporary (i.e. has no fixed desk). A departmental store is a good candidate for this deployment. Installation of such system is relatively easy while relocation is still allowed. This deployment also offers high level of security control. Its additional advantage includes no service fees, if the network is owned by the customer. Nevertheless, the access speed is relatively slower than No Mobility scenario and its service area is limited by access points available.

C. Full Mobility Deployment

This deployment also takes advantage from wireless service network, However, services rely on telephone service providers (i.e. mobile phone companies). From users' perspective, this is similar to the usage of mobile phones, Smartphones, etc. The current and mostly used technology is Universal Mobile Telecommunications System (UTMS), or commonly known as 3G. The great advantage of this deployment is the full mobility which makes it possible to provide services to a large area or even an entire city. There is no need for any investment for installation. Such deployment is suitable for where setting up a network is problematic. A scenario where authority wishing to allow VOIP access to cover a whole city, when service fees is not an issue, is a good example. Its disadvantages include incurring of service fees. Since it relies on the service providers, this means low level of control on QOS and reliability, especially when the network is simultaneously access by the large number of users. Security is also an issue for this deployment. A more detailed description of their installation is discussed in the next section.

IV. Experimental Setups and Methodology

Three different experimental setups had been designed reflecting the three different deployment strategies. All were implemented using the same Session Initiation Protocol (SIP) server, user agent and packet sniffer. Implementation based on different technologies to access IP network can affect the MOS value due to the carrier transmission protocol, and error control protocol in each technology. In this study, Wired LAN, Wireless LAN and UMTS were used as the technology for No Mobility, Limited Area Mobility and Full Mobility deployment for their suitability respectively.

Two other factors which may affect the QoS in VoIP are background traffic and access point contention. However, controlling these two variables is beyond the scope of this study. In practice, their values are almost impossible to obtain, especially in full mobility scenario as only service providers may have access to them. It is also debatable that making these values accessible may have negative impact from commercial point of view. In this study, assumption is made that background traffic and access point contention are similar in all deployments. All experiments were carried out at the time of the day when background traffic was expected to at the lowest, in order to keep their influence to the comparison of the results to minimal.

The experimental setups in this study are shown in Figures 1, 2 and 3 for No Mobility deployment, Limited Area Mobility deployment and Full Mobility deployment respectively.

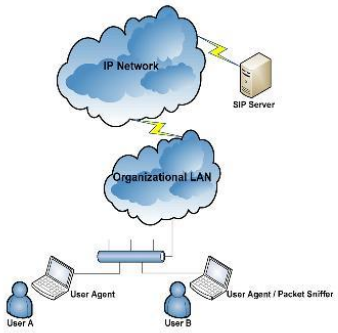


Figure 1. No Mobility Deployment

The SIP server provided by Thailand local VoIP service provider named NetTalk™, implemented by True Internet Company Limited, were used to create VoIP calls. A session was established by using Softphone. Each call was measured by a packet monitoring program from GL Communications Inc. known as PacketScan™. The UMTS network provider was TOT Public Company Limited (Thailand 3G network provider).

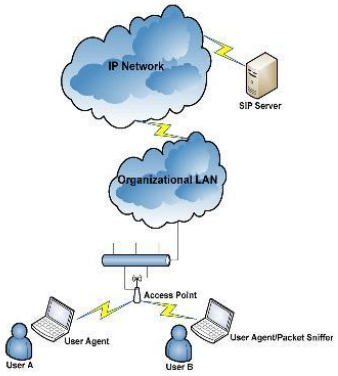


Figure 2. Limited Area Mobility Deployment

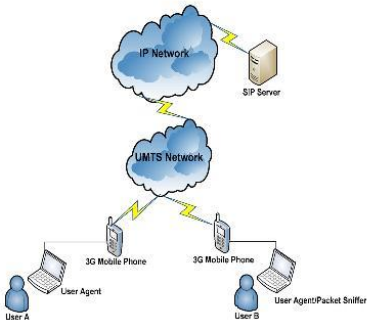


Figure 3. Full Mobility Deployment

As there are many different types of compressor–decompressor (CODEC) available with different properties, this study paid a particular attention to the selection of suitable CODEC used. Two CODEC selected were G.711 for their suitability. The G.711 [12] is probably the most commonly used as it gives the best overall quality. Nevertheless, it is under the assumption that bandwidth consumption is not an issue for its usage. This study provided an opportunity to investigate the suitability of G.711 in the Full Mobility deployment where low bandwidth may occur. The G.729 [13] has a special property that it works well under the circumstance where bandwidth is relatively low. This makes it appropriate to investigate and compare its performance with G.711, especially in the Full Mobility deployment.

For each deployment, 15 VoIP calls were made from one end point to another end point. The package discard, package loss and MOS values were recorded for each call.

V. Experiment Results

As each deployment adopted different technology as described in the previous section. Hence, hereafter, the term 'Wired LAN', 'Wireless LAN' and 'UMTS' will be used for No Mobility, Limited Area Mobility and Full Mobility deployment respectively for simplicity.

Figure 4 depicts the comparison of packet discard using both types of CODEC among the three deployments.

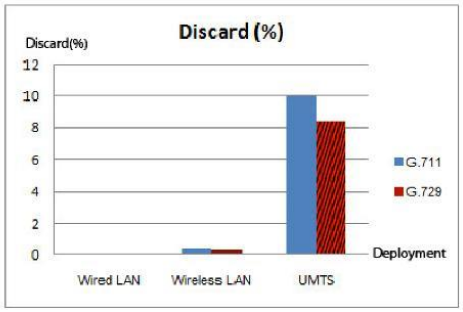


Figure 4. . Packet discard Percentage among the three deployments

Both Wired LAN and Wireless LAN resulted in marginal packet loss. UMTS resulted in much higher percentage of packet discard on both CODEC, while G.729 performed slightly better than G.711. As generally belief, packet discard has a direct impact on MOS and the result of this study affirms this.

Figure 5 depicts the comparison of packet loss using both types of CODEC among the three deployments.

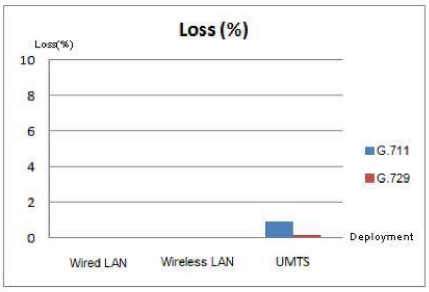


Figure 5. Packet Loss Percentage among the three deployments

Both Wired LAN and Wireless LAN resulted in almost zero percentage of packet loss. Similar to packet discard, UMTS resulted in higher percentage of packet loss on both CODEC. Noting that G.729 performed reasonably well and seems significantly better than G.711. As generally belief also, packet loss has a direct impact on MOS and the result of this study affirms this.

Figure 6 depicts the comparison of MOS using both types of CODEC among the three deployments.

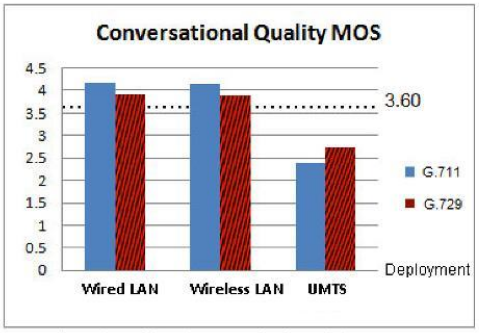


Figure 6. MOS value among the three deployments

Both Wired LAN and Wireless LAN resulted in MOS well above recommended ITU-T value on both CODEC, while G.711 produced superior results. UMTS was unable to reach the acceptable value as recommended by ITU-T. The result can be interpreted at the 'nearly all users dissatisfied' level. Although, result from using both CODEC was well below recommended value, it is worth noting that the G.729 outperformed the G.711.

VI. Discussion

Using the recommended baseline MOS value of 3.6, No Mobility deployment using wired LAN and Limited Area Mobility deployment using wireless LAN, can provide a satisfactory end-to-end voice communication. A slight packet discard percentage in Limited Area Mobility deployment indicates slight performance degradation. However, this level of degradation is still acceptable and the MOS value suggested that it can produce satisfactory quality of voice communication. However, in Full Mobility deployment using UMTS technology, a dramatic degradation of voice quality occurred as indicated by its poor MOS value .

With respect to adoption of CODEC, it is a popular belief that G.729 is suitable for situation where low bandwidth and noisy channel can occur. This study reveals that the improvement it can produce is marginal and is still far from satisfactory in Full Mobility deployment using UMTS technology where communication channel can be noisy.

At the current state, UMTS network technology is still incapable of delivering satisfactory QoS for Full Mobility deployment of VoIP. The findings also reveals the importance and readiness of infrastructure for Full Mobility deployment of VoIP, especially in developing countries. In short, a lot of improvement is still needed before satisfactory QoS is reached.

VII. Conclusion and Future Work

This study is probably the first that discusses the three possible deployment strategies in VoIP (No Mobility, Limited Area Mobility and Full Mobility) with respect to the quality of end-to-end voice communication.

The study attempts to compare QoS in VoIP among possible deployments by using the popular measurements (packet discard, packet loss and MOS). The results reveal that satisfactory QoS in both No Mobility deployment and Limited Area Mobility deployment. However, the current UMTS technology in Full Mobility deployment still cannot manage to deliver satisfactory QoS. This raises the awareness of the need to improve the infrastructure readiness for such deployment. The finding also hampers the popular and much anticipated expectation of the G.729 CODEC capability.

Future works can be carried out in several aspects. It will be of interest to carry out a similar study under the real scenario rather than simulation, albeit a difficult task. Comparison between simulation and real scenario may reveal some interesting and useful facts. Results from comparison among these deployments will be a lot more meaningful if all parameters can be controlled and measured, especially in Full Mobility deployment. The crucial two parameters are background traffic and access contention. However, measuring and controlling these values have always been problematic to almost all researches in this field as it requires corporation and willingness from service providers to release these values.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge the financial support from Telecommunications Research Industrial and Development Institute (TRIDI), Thailand, National Telecommunications Commission Fund (Grant No. MSC/007/2551, MSC/004/ 2552, MSC/009/2552). Useful advice and comment from Asst. Prof. Dr. V. Vanijja and Mr. T. Triyason are much appreciated. The authors are also grateful for use of VoIP equipments and computing facilities at the School of Information Technology (SIT), King

Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand

REFERENCES

[1] H. Sinnreich, A. B. Johnston, "Introduction", in Internet communications using SIP : delivering VoIP and multimedia services with Session Initiation Protocol, Indianapolis", Wiley, 2006, Ch.1, Sec 4, pp.5-6.

[2] Hui Min Chong, Matthews, H. S., "Comparative analysis of traditional telephone and voice-over-Internet protocol (VoIP) systems", Proc. of the 2004 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment (ISEE), Arizona, USA, 10th -13th May 2004, pp. 106-111.

[3] ITU-T P.800.1, "Mean Opinion Score (MOS) terminology", ITU-T Recommendation P.800.1, July 2009.

[4] ITU-T P.861, "Perceptual Speech Quality Measure (PSQM) : Objective quality measurement of telephone band (300 - 3400Hz) speech codecs", ITU-T Recommendation P.861, 1996.

[5] ITU-T P.862, "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs", February 2001.

[6] ITU-T G.107, "The E-model: a computational model for use in transmission planning", ITU-T Recommendation G.107, April 2009.

[7] Salah K., "On the deployment of VoIP in Ethernet networks: methodology and case study", Computer Communications, Vol. 29, Issue 8, May 2006, pp. 1039-1054.

[8] Medepalli, K., Gopalakrishnan, P., Famolari, D. and Kodama, T., "Voice capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g wireless LANs,", Proc. of the 2004 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '04), Texas, USA, 29th Nov. – 3rd December 2004, Vol.3, pp. 1549-1553.

[9] Niculescu, D., Ganguly, S., Kim, K. and Izmailov, R., "Performance of VoIP in a 802.11 Wireless Mesh Network", Proc. of the 2006 IEEE 25th International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2006), Barcelona, Spain, 23rd – 29th April 2006, pp.1-11.

[10] Cuny, R., Lakaniemi, A., , "VoIP in 3G networks: an end-to-end quality of service analysis", Proc. of the 5th IEEE 57th Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2003-Spring), CA, USA, 27th April – 2nd May, 2003, Vol.2, pp. 930- 934

[11] Hopfeld, T., Binzenhöfer, A., Fiedler, M., Tutschku, K., "Measurement and analysis of Skype VoIP traffic in 3G UMTS systems", Proc. of the 4th International Workshop on Internet Performance, Simulation, Monitoring and Measurement (IPS-MoMe 2006), Salzburg, Austria, 2006.

[12] ITU-T G.711, "Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies", ITU-T Recommendation G.711, November 1988.

[13] ITU-T G.729, "G.729 Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic code-excited linear prediction (CS-ACELP)", ITU-T Recommendation G.729, January 2007.

ภาคผนวก ข

A Diagnosis System for Open-Source VoIP Software (FreeSWITCH)

ระบบวินิจฉัยปัญหาการใช้โอเพ่นซอร์สซอฟแวร์ระบบ VoIP (FreeSWITCH)
A diagnosis system for open-source VoIP Software (FreeSWITCH)

กิตติชัย ลวันยานนท์[1] และ บริญญา ปัญญาโต[2]
ห้องปฏิบัติการ IP-Based Communications, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Email: Kitt@sit.kmutt.ac.th[1] and Igett@live.com[2]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการโทรศัพท์ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์หรือ VoIP ได้รับความนิยม และถูกนำมาใช้ให้บริการมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีต่างๆมากมายเช่น ลดค่าใช้จ่าย มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถประยุกต์ใช้ให้บริการต่างๆได้เป็นอย่างดี และการติดตั้งระบบเพื่อใช้งานง่ายขึ้นกว่าในอดีต เนื่องจากมีซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการติดตั้งมากมายทั้งแบบไม่เสียค่าใช้จ่ายและที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย สำหรับซอฟต์แวร์ VoIP แบบไม่เสียค่าใช้จ่ายก็มีหลากหลายโปรแกรมด้วยกัน โดย FreeSWITCH เป็นหนึ่งในโปรแกรมเหล่านั้น ข้อดีของ FreeSWITCH คือ ช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตั้ง และดูแลระบบ VoIP ง่ายและสะดวกมากขึ้น แต่การแก้ไขปัญหาจากการติดตั้งและการใช้งาน FreeSWITCH นั้นจำเป็นต้องอาศัยความรู้จากผู้รู้หรือผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาที่ถูกต้อง ดังนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญจึงถูกนำมาใช้เพื่อสร้างระบบที่วิเคราะห์ปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการติดตั้งและปัญหาจากการใช้งาน FreeSWITCH ให้กับผู้ใช้ที่ไม่ได้เป็นผู้เชี่ยวชาญ โดยอาศัยเทคนิคการแทนความรู้แบบ Frame ร่วมกับกลไกอนุมานแบบ Forward Chaining ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและใช้คำแนะนำจากระบบไปแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ : ระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายระบบไอพี, FreeSWITCH, ระบบผู้เชี่ยวชาญ, กลไกอนุมานแบบเดินหน้า, การแทนความรู้แบบเฟรม

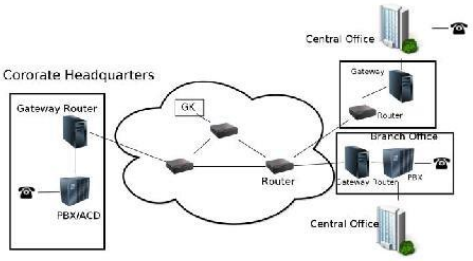
Abstract

At present, the use of Voice over Internet Protocol (VoIP) is gaining popularity. Its advantages are several, they include low operating cost, flexibility usage and its adaptability to the require services. Implementation of VoIP system is relatively easy, this is due to the availability of numerous softwares. Some requires licence while others are licence free. One of such licence free is the 'FreeSWITCH' and also popular due to its ease of implementation and maitenance. Nevertheless, experts in FreeSWITCH are still necessary in diagnosis of problems associated with it in order to provide correct solutions. This work is concerned with developing an diagnosis and advisory system for problems which can occur in implementing, using and maintaining of FreeSWITCH based VoIP system for general users. 'Frame' is selected as the knowledge representation technique while 'forward chaining' is selected for its suitability for inference strategy. The system implemented ought to be beneficial and allows non experts in FreeSWITCH to consult when they encounter problems related to this technology.

Keywords: Expert Systems, Forward Chaining, FreeSWICH, Frame, Voice over Internet Protocol (VoIP)

1. Voice Over Internet Protocol (VoIP)

Voice Over Internet Protocol (VoIP) หรือระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายระบบ Internet protocol (IP) [1] ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในองค์กร หน่วยงานรัฐ และหน่วยงานเอกชน เพราะมีข้อดีเหนือกว่าโทรศัพท์แบบพื้นฐานหรือ Public Switched Telephone Network (PSTN) เช่นประหยัดค่าใช้จ่ายในการโทรและการติดตั้ง การใช้งานที่หลากหลาย สามารถใช้เครือข่ายเน็ตเวิร์คในองค์กรเป็นระบบ VoIP ได้โดยการติดตั้งระบบ VoIP นั้นได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 1 อีกทั้งปัจจุบันยังมี Software ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ VoIP เพื่อลดความยุ่งยากของการติดตั้งทั้งที่ฟรี และที่เสียค่าใช้จ่าย มากมายเช่น Brekeke, Asterisk, FreeSWITCH และอื่นๆ



รูปที่ 1 ภาพแสดงการติดตั้งเพื่อใช้งาน VoIP ในปัจจุบัน

FreeSWITCH [2] เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่หลักเป็น Softswitch, Internet Protocol-Private branch exchange (IP-PBX) หรือตู้ชุมสายโทรศัพท์ระบบ IP ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมและจัดการบริหารการเชื่อมต่อ ระหว่างอุปกรณ์โทรศัพท์ผ่านระบบเครือข่าย ดังที่ชื่อกล่าวไว้,FreeSWITCH เป็นซอฟต์แวร์ที่บุคคลทั่วไปสามารถดาวน์โหลดมาติดตั้งได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย การแก้ไขปัญหาการใช้งาน FreeSWITCH สามารถทำได้โดยปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ หรือโดยการเปิดคู่มือ FreeSWITCH เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาและวิธีแก้ไข

อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาโดยปราศจากผู้เชี่ยวชาญอาจเกิดความล่าช้าและความไม่สะดวกจากการค้นหาสาเหตุของปัญหาและวิธีการแก้ไขจากแหล่งต่างๆที่อยู่อย่างกระจัดกระจาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีในแขนงระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) มาใช้ช่วยแก้ปัญหาความไม่สะดวกนี้ โดยพัฒนาระบบที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน FreeSWITCH ที่จะค้นหาสาเหตุของปัญหาและเสนอคำแนะนำจากฐานความรู้ที่เก็บเอาไว้ให้กับผู้ที่ใช้งานระบบนี้ ปัญหาของ FreeSWITCH มีได้หลายประเภทสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มใหญ่ได้แก่

1. ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกับ FreeSWITCH
2. ปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของซอร์สโค้ดหรือโมดูลของ FreeSWITCH
3. ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งาน FreeSWITCH

ในแต่ละหมวดหมู่หลักของปัญหาก็จะมีปัญหาหมวดหมู่ย่อยภายในหมวดหมู่นั้นๆอีกมากมาย ประเด็นที่ทำให้การแก้ไขปัญหามีความยุ่งยากขึ้นคือการที่หนึ่งปัญหาอาจมีสาเหตุจากปัญหาอื่นๆ และอาจมีวิธีแก้ปัญหามากกว่าหนึ่งวิธีทำให้การแก้ไขปัญหาโดยปราศจากผู้เชี่ยวชาญอาจเกิดความล่าช้าและความไม่สะดวกดังที่กล่าวมาข้างต้น การทำงานของระบบแก้ไขปัญหา FreeSWITCH จะมี 2 ส่วนหลักคือฐานความรู้ (Knowledge Base) และกลไกอนุมาน (Inference Engine) โดยรายละเอียดของการพัฒนาระบบถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4

2. ทฤษฎีระบบผู้เชี่ยวชาญ

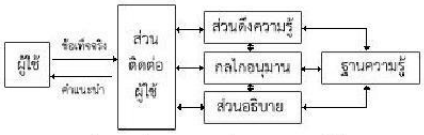
2.1 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ [3] คือระบบคอมพิวเตอร์ที่จำลองการใช้เหตุผลและการตัดสินใจของมนุษย์ในความเชี่ยวชาญในด้านใดด้านหนึ่ง โดยใช้ความรู้และการสรุปเหตุผลเชิงอนุมานในการแก้ปัญหา

เทคนิคผู้เชี่ยวชาญได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้งานหลายๆลักษณะบนแนวคิดที่ต้องพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์สามารถเก็บทั้งความรู้ในแขนงใดแขนงหนึ่ง และขบวนการอนุมานเพื่อนำไปสู่ผลสรุปหรือคำตอบของปัญหาหรือการตัดสินใจทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งในแขนงวิชานั้น ความรู้ที่เก็บเป็นความรู้ที่เป็นจริงที่อาจจะถูกบันทึกไว้ในรูปของตำราหรือเอกสารทางวิชาการ หรืออาจเป็นความรู้ที่ได้จากประสบการณ์ที่อาจจะไม่อยู่ในรูปแบบในตำราหรือเอกสารทางวิชาการ แต่จะต้องดึงออกมาจากผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญที่มีประสบการณ์นั้น โดยเก็บความรู้นั้นไว้ในฐานความรู้ แล้วอาศัยกลไกอนุมานดึงเอาความรู้มาให้โดยอาศัยข้อมูลของแต่ละสถานการณ์จากผู้ใช้

2.2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญโดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ส่วน ดังนี้ [4]



รูปที่ 2 องค์ประกอบ 5 ส่วนของระบบผู้เชี่ยวชาญ

1. ฐานความรู้ (Knowledge base) : ฐานความรู้เปรียบเสมือนกับข้อมูลในซอฟต์แวร์หรือฐานข้อมูล (Database) ในระบบสารสนเทศ (information system) ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้เก็บความรู้จากทุกแหล่ง ปัญหาหลักของฐานความรู้คือ การเลือกวิธีการแสดงความรู้ (Knowledge Representation) หรือโครงสร้างสำหรับเก็บความรู้ที่เหมาะสม

2. กลไกอนุมาน (Inference Engine): ส่วนนี้ เป็นส่วนที่ควบคุมการใช้ความรู้ในฐานความรู้เพื่อแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยข้อเท็จจริงที่ได้รับจากผู้ใช้ ซึ่งกลไกอนุมานมีหลายวิธี [3],[4] อย่างไรก็ตาม การอนุมานแบบเดินหน้า (Forward Chaining) และการอนุมานแบบย้อนกลับ (Backward Chaining) เป็น 2 วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

3. ส่วนดึงความรู้ (knowledge acquisition subsystem) : ส่วนนี้เป็นส่วนของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ช่วยในการดึงเอาความรู้จากหนังสือหรือจากผู้เชี่ยวชาญมาเก็บไว้ การดึงเอาความรู้จากหนังสือนั้นทำได้ไม่ยาก ถ้าหากความรู้จากแหล่งดังกล่าวได้ถูกจัดไว้เป็นระบบอยู่แล้ว แต่การดึงเอาความรู้จากผู้เชี่ยวชาญนั้นทำได้ยากจึงเป็นหัวข้อค้นคว้าที่นักค้นคว้าในสาขาปัญญาประดิษฐ์ให้ความสนใจมากที่สุดหัวข้อหนึ่ง

4. ส่วนอธิบาย (Explanation sub-system) : ส่วนนี้ทำหน้าที่อธิบายรายละเอียดของขั้นการวินิจฉัยต่อผู้ใช้ว่าข้อสรุปหรือคำตอบนั้นได้มาอย่างไรและทำไม

5. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface) : ส่วนนี้เป็นส่วนที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้กับระบบเพื่อทำให้การสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับระบบเป็นไปได้อย่างราบรื่น และเกิดความมั่นใจในการใช้ระบบว่าระบบนั้นมีการอนุกรมอย่างถูกต้อง

3. หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญถูกใช้ในงานต่างๆมากมาย งานวิจัยแต่ละชิ้นจะมุ่งไปที่ความถูกต้องของคำตอบในแต่ละสาขาสนใจเป็นหลัก การพัฒนาเทคนิคทางด้านนี้ที่ได้รับความสนใจเป็นการพัฒนาเทคนิคในการแทนความรู้และเทคนิคใหม่ๆในการอนุมานคำตอบ ซึ่งใน 2 มิตินี้อยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ ในหัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึงระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นตามลักษณะของกลไกอนุมานที่ถูกนำมาใช้พอสังเขปดังนี้

ระบบแนะนำการลงทุนในกองทุนรวม [5] *และการประยุกต์ใช้อนุมานย้อนกลับเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการลงทุนในกองทุน* [6] เป็นงานวิจัยพัฒนาระบบแนะนำการลงทุนโดยพิจารณาเลือกประเภทกองทุนรวมที่เหมาะสมกับผู้ลงทุนโดยใช้ JESS ซึ่งเป็น Expert System Shell หนึ่ง ฐานความรู้จากหนังสือด้านการลงทุนและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในสาขา มีการแทนความรู้แบบกฎ และใช้การอนุมานแบบเดินหน้า (Forward Chaining) และการอนุมานแบบย้อนกลับ (Backward Chaining) *ระบบผู้เชี่ยวชาญการปฐมพยาบาล* [7] เป็นงานวิจัยที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ทางด้านการปฐมพยาบาลโดยได้ฐานความรู้จากหนังสือและตำราการปฐมพยาบาลและการจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 2 งานวิจัยมีการใช้การอนุมานแบบเดินหน้า (Forward Chaining) และย้อนหลัง (Backward Chaining) ควบคู่กัน

ระบบผู้เชี่ยวชาญทางพฤษนุกรมวิธาน [8] เป็นงานวิจัยที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบพฤษนุกรมวิธาน โดยได้ฐานความรู้จากหนังสือและการจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาพฤกษศาสตร์ โดยงานวิจัยนี้มีการใช้กลไกการอนุมานแบบแบบ Decision Tree นอกจากนี้ยังมีระบบที่ใช้หลักการอนุมานแบบอื่นๆ เช่น *ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์* [9] ที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นทางฮาร์ดแวร์ของ

คอมพิวเตอร์ โดยได้ฐานความรู้จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ System Shell ที่มีชื่อว่า CLIP เป็นเครื่องมือพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญและ *ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการท่องเที่ยว 6 จังหวัดฝั่งทะเลอันดามัน* [10] เป็นงานวิจัยที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้แนะนำสถานที่ท่องเที่ยว 6 จังหวัดอันดามันให้กับผู้ใช้ โดยได้ฐานความรู้จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งฐานความรู้มีการแทนความรู้และกลไกการอนุมานแบบย้อนหลัง (Backward Chaining)

การศึกษาจากงานวิจัยการใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไขปัญหาปรากฏว่ายังไม่มีงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีระบบผู้เชี่ยวชาญมาพัฒนาระบบแก้ไขปัญหาของ FreeSWITCH ทั้งในและต่างประเทศ

4. การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อแก้ปัญหาการใช้งาน FreeSWITCH

4.1 แหล่งข้อมูลและการรวบรวมองค์ความรู้

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำการรวมรวมองค์ความรู้จาก 3 แหล่งคือ

1. **หนังสือ FreeSWITCH :** หนังสือ FreeSWITCH [2][11] มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์ FreeSWITCH ,VoIP เบื้องต้น, โปรโตคอลต่างๆ, อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ, การติดตั้ง และการตั้งค่าต่างๆ, การใช้ฟังก์ชั่น ต่างๆรวมทั้งการแก้ปัญหาเบื้องต้น
2. **เว็บไซต์ทางการของ FreeSWITCH :** เว็บไซต์ทางการของ FreeSWITCH [12] มีข้อมูลต่างๆคล้ายคลึงกับหนังสือ FreeSWITCH แต่จะมีการปรับปรุงข้อมูลใหม่กว่าหนังสือตามเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ที่อำนวยให้
3. **เว็บบอร์ดถามตอบปัญหาของกลุ่มผู้ใช้ FreeSWITCH** [13]: แหล่งข้อมูลนี้เป็นเว็บไซต์ที่ผู้ใช้ที่มีปัญหาจะมาตั้งคำถามทิ้งไว้แล้วผู้เชี่ยวชาญจะมาตอบคำถามที่ แหล่งข้อมูลนี้ไม่สามารถนำทุกคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญมาใช้ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการคัดกรองว่าเป็นการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องจริง โดยดูจากผลการนำข้อแนะนำนั้นไปใช้ หากมีผู้ถามกลับมาตอบว่าแก้ไขปัญหาได้สำเร็จ ก็สามารถเป็นหลักฐานได้ว่าวิธีการนั้นถูกต้องและสามารถนำมาเก็บในฐานความรู้ได้

อย่างไรก็ดีรูปแบบความรู้ที่กล่าวไว้ทั้ง 3 แหล่งนี้ต้องถูกนำมาวิเคราะห์และดัดแปลงเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้

4.2 การแทนความรู้ (Knowledge representation)

เทคนิคที่ใช้ในการแทนข้อมูลในฐานความรู้ (Knowledge representation) มีอยู่หลายรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับกลไกอนุมานที่มีอยู่หลายรูปแบบเช่นกัน

การแทนความรู้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆได้แก่ การแทนความรู้ในรูปของกฎ (Rules) การแทนความรู้โดยใช้ตรรกศาสตร์ (Logics) การแทนความรู้แบบเครือข่าย (Network Semantic) และการแทนความรู้แบบโครงสร้าง (Structural)

ในงานวิจัยนี้ใช้ Frame ซึ่งเป็นการแทนความรู้แบบโครงสร้าง (Structural representation) โครงสร้างพื้นฐานของ Frame ประกอบไปด้วยชื่อเฟรม และสล็อต (Slot) เนื่องจากปัญหาของ FreeSWITCH มีความสัมพันธ์กัน รวมถึงสัมพันธ์กับชนิดของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาต่างๆอีกด้วย ในแต่ละ Frame นั้นจะบันทึกความสัมพันธ์ต่างระดับระหว่างสิ่งต่างๆ ดังนั้น Frame จึงเหมาะสมกับการเก็บฐานความรู้ในงานวิจัยนี้ ดังที่แสดงในรูปที่ 3 และ4

ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นโครงสร้างของเฟรมทั้ง 3 เฟรมคือเฟรมปัญหา (Problem) เฟรมวิธีแก้ปัญหา (Solution) และเฟรมชนิดของปัญหา (Type) โดยในแต่ละเฟรมจะมีสล็อตแตกต่างกันออกไป เช่น เฟรมชื่อ ปัญหา (Problem) มีสล็อตเลขไอดี, หัวข้อของปัญหา, รายละเอียดของปัญหา, ปัญหานี้เป็นต้นเหตุของปัญหาอื่น และชนิดหรือหมวดหมู่ของปัญหานี้

รูปที่ 3 โครงสร้างของ Frame ในระบบที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการใช้งานเฟรมชื่อ ปัญหา (Problem) โดยมีค่าในสล็อตต่างๆดังนี้

- **หัวข้อของปัญหา :** Cannot update FreeSWITCH
- **รายละเอียดของปัญหา :** Cannot update FreeSWITCH with the following error message:
  /bin/bash: /usr/src/FreeSWITCH.git/libs/ldns/configure: No such file or directory
  make[5]:*** [/usr/src/FreeSWITCH.git/libs/ldns/Makefile] Error 127
  make[4]: *** [install] Error 1
  make[3]: *** [mod_enum-install] Error 1
  make[2]: *** [install-recursive] Error 1
  make[1]: *** [install-recursive] Error 1make: *** [install] Error 2
- **ปัญหานี้เป็นต้นเหตุของปัญหาอื่น :** ไม่ได้เป็นสาเหตุของปัญหาอื่น
- **ปัญหานี้อยู่ในกลุ่มปัญหา :** Configuration error or file error

FRAME: PROBLEM	
TITLE	Cannot update FreeSWITCH
DESCRIPTION	Cannot update FreeSWITCH with the following error message: /bin/bash: /usr/src/FreeSWITCH.git/libs/ldns/configure: No such file or directory make[5]: *** [/usr/src/FreeSWITCH.git/libs/ldns/Makefile] Error 127 make[4]: *** [install] Error 1 make[3]: *** [mod_enum-install] Error 1 make[2]: *** [install-recursive] Error 1 make[1]: *** [install-recursive] Error 1make: *** [install] Error 2
SYMPTOM OF	-
TYPE ID	15 (Configuration error or file error)

รูปที่ 4 : ตัวอย่างของ Frame ชื่อ Problem ในกรณีที่ไม่สามารถอัพเดต FreeSWITCH

4.3 กลไกอนุมานที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากธรรมชาติของการแก้ไขปัญหา FreeSWITCH เป็นการตรวจสอบข้อมูลแต่ละค่า ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นตัวกำหนดค่าข้อมูลที่ต้องการต่อไปจะเป็นข้อมูลใด ดังนั้น Forward chaining จึงมีลักษณะเหมือนกับวิธีการแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญ FreeSWITCH ที่เป็นมนุษย์ที่มากที่สุดจากแนวทางการอนุมานต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน

4.4 การจัดการวิธีแก้ปัญหาที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหาของระบบ

ธรรมชาติของปัญหาที่เกิดจากซอฟต์แวร์ FreeSWITCH สามารถมีวิธีแก้ปัญหาได้แตกต่างกันตามรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆหรือสภาพแวดล้อมของการใช้งาน ดังนั้นปัญหาหนึ่งในงานลักษณะนี้อาจมีวิธีการแก้ไขได้มากกว่า 1 วิธีหรืออาจจะยังไม่มีแนวทางแก้ไขเลยก็เป็นไปได้ ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นจึงมีวิธีการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้ใน 3 ลักษณะดังนี้

1. **ปัญหาที่วิธีการแก้ปัญหาเพียง 1 วิธี** : ระบบจะแสดงวิธีการแก้ปัญหาที่บันทึกไว้ออกมา ถ้าหากวิธีการนั้นแก้ปัญหาของผู้ใช้ไม่ได้ ระบบจะแนะนำให้ผู้ใช้สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญจากเว็บไซต์ของ FreeSWITCH

2. **ปัญหาที่มีวิธีการแก้ปัญหามากกว่า 1 วิธี** : ระบบจะแสดงวิธีการแก้ปัญหาออกมาครั้งละ 1 วิธี โดยการเรียงลำดับตามอัตราส่วนของผู้ใช้ที่สามารถใช้วิธีการนั้นแก้ปัญหาได้ (จากการให้ feedback ว่าวิธีการนั้นสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่โดยผู้ใช้ระบบคนก่อนหน้าที่เคยขอคำแนะนำในปัญหาเดียวกัน) แต่หากยังไม่มีผู้ที่เคยแก้ไขปัญหานั้นมาก่อน ระบบจะทำการเลือกวิธีที่ง่ายหรือสั้นที่สุดออกมาก่อน ถ้าหากวิธีการนั้นแก้ปัญหาของผู้ใช้ไม่ได้ ระบบจะทำการนำเสนอวิธีการถัดไป แต่ถ้าหากไม่มีวิธีใดแก้ปัญหาได้ระบบจะแนะนำให้ผู้ใช้สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญจากเว็บไซต์ของ FreeSWITCH

3. **ปัญหาที่ยังไม่มีวิธีแก้ปัญหาในฐานความรู้** : กรณีนี้ถือได้ว่าเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่นอกขอบเขตฐานความรู้ในระบบ ดังนั้นระบบทำได้เพียงแนะนำให้ผู้ใช้สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญจากเว็บไซต์ของ FreeSWITCH

ทุกครั้งที่ผู้ใช้นำเอาวิธีการแก้ปัญหาจากระบบไปใช้ ระบบจะขอผลจากการนำเอาวิธีการจากระบบไปใช้แก้ปัญหาว่า สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ (feedback) โดยระบบจะนำผลที่ได้ไปประมวลผลเพื่อจัดเรียงลำดับการแนะนำการแก้ปัญหาให้กับผู้ที่มาขอคำแนะนำนั้นภายหลังต่อไป

5. หลักการทำงานของระบบ

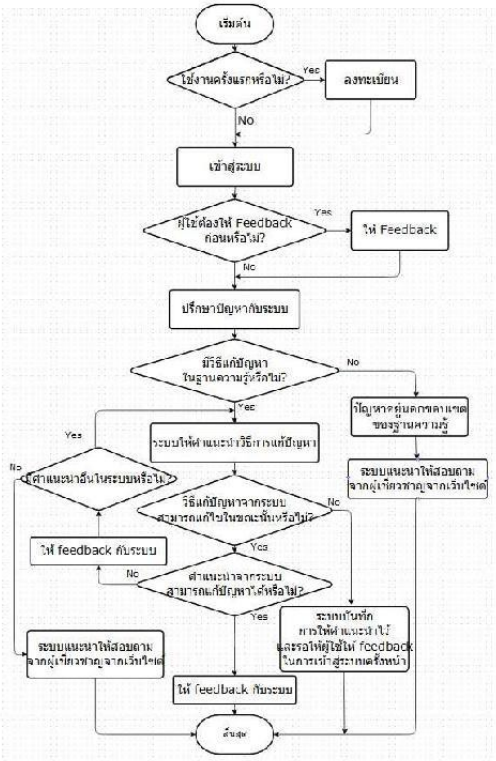
ระบบทั้งหมดถูกพัฒนาขึ้นมาจากภาษา PHP [14] และทำงานร่วมกับฐานข้อมูล ซึ่งกฎถูกเขียนในรูปแบบของคำสั่งภายใน PHP การติดต่อกับผู้ใช้เพื่อรับ input และแสดงผลทำผ่านโปรแกรม web browser

การใช้งานระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ขั้นตอนแรก ผู้ใช้ต้องทำการเข้าสู่ระบบ ถ้าหาผู้ใช้เข้ามาใช้ระบบครั้งแรกจะต้องทำการลงทะเบียนก่อน หลังจากผู้ใช้เข้าสู่ระบบแล้ว ระบบจะทำการตรวจสอบว่าผู้ใช้เคยใช้งานระบบโดยระบบเคยแนะนำในการใช้งานครั้งก่อนและผู้ใช้ยังไม่ได้ให้คำตอบกับระบบว่าวิธีการแก้ปัญหาที่ระบบเคยให้ไปสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้หรือไม่ (ให้ Feedback กับระบบเพื่อนำไปปรับปรุงวิธีการแสดงวิธีแก้ปัญหา) ถ้าหากมี ผู้ใช้จะต้องเข้าไปตอบคำถามก่อนใช้งานระบบครั้งใหม่

ถ้าหากผู้ใช้ให้คำตอบกับระบบไปแล้วหรือใช้งานครั้งแรก ระบบจะแสดงหมวดหมู่ทั้งหมดของปัญหาของ FreeSWITCH ดังต่อไปนี้

1. Hardware/OS/Software/Connection Compatible
2. Compilation or Set up
3. Running or usage

ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกหมวดหมู่หลัก 1 หมวดหมู่ แล้วระบบจะทำการแสดงหมวดหมู่ย่อยในหมวดนั้นๆ ระบบจะวิเคราะห์ปัญหาของผู้ใช้และให้คำแนะนำที่เหมาะสมในกรณีที่ฐานความรู้ครอบคลุมถึงปัญหานั้น หากปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่นอกขอบเขตในฐานความรู้ ระบบจะแนะนำให้ผู้ใช้ไปสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในเว็บบอร์ดของ FreeSWITCH



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

เมื่อระบบได้ให้ข้อแนะนำกับปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในกรณีที่มีวิธีการแก้ไขได้มากกว่า 1 วิธี ระบบจะมีวิธีการจัดการตามหัวข้อที่ 4.4

เนื่องจากการแก้ปัญหาอาจใช้เวลาหรือวิธีการที่ระบบเสนอไปอาจไม่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นจึงต้องมีระบบจดจำคำแนะนำที่ได้เสนอเพื่อที่ผู้ใช้จะสามารถกลับมายืนยันถึงความสำเร็จในการนำคำแนะนำที่ระบบให้ว่าสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ ระบบอาจเสนอวิธีแก้ปัญหาใหม่หลังจากวิธีการที่ระบบนำเสนอไม่สามารถแก้ปัญหาได้

6. ตัวอย่างการแนะนำข้อแก้ปัญหา FreeSWITCH

เนื่องจากธรรมชาติของการใช้งานระบบเป็นลักษณะการสนทนา (dialogue) จึงไม่สามารถแสดงให้เห็นหน้าจอตามจริงได้ในบทความนี้ ดังนั้นจึงขอเสนอกรณีตัวอย่างดังนี้

ผู้ใช้ประสบปัญหาไม่สามารถอัพเดต FreeSWITCH ได้และมีข้อความแสดงความผิดพลาด (error) ออกมาทางหน้าจอภาพ โดยเมื่อตรวจสอบไฟล์ตั้งค่าของระบบ (configuration) และไฟล์ตั้งค่าภายในโฟลเดอร์ *"/usr/src/freeswitch.git/libs/ldns/"* แล้วพบว่ายังมีครบทั้งสองไฟล์

หลังจากผู้ใช้เลือกปัญหาที่พบในระบบแล้ว ระบบจะแสดงรายละเอียดของปัญหาให้กับผู้ใช้ โดยรายละเอียดของปัญหาข้างต้นตามรูปที่ 5 ตรงกับที่ผู้ใช้พบ ผู้ใช้จะเลือกที่จะขอรับการวินิจฉัยและวิธีการแก้ปัญหานี้ ระบบก็จะมีคำถามเพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบและตอบกลับมายังระบบเพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาตามรูปที่ 6

Cannot update FreeSwitch with the following error message:
'/bin/bash: /usr/src/freeswitch.git/libs/ldns/configure: No such file or directory
*make[5]: *** [/usr/src/freeswitch.git/libs/ldns/Makefile] Error 127*
*make[4]: *** [install] Error 1*
*make[3]: *** [mod_enum-install] Error 1*
*make[2]: *** [install-recursive] Error 1*
*make[1]: *** [install-recursive] Error 1*
*make: *** [install] Error 2*

รูปที่ 5 รายละเอียดที่ระบบแสดงให้ผู้ใช้ตรวจสอบก่อนวินิจฉัย

(กรณีไม่สามารถ Update FreeSWITCH ได้)

Please check the file configuration in your system and answer the following question: Does the file configuration is missing?
Answer: [No]

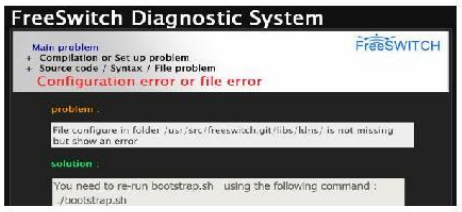
Please check the file configuration in folder "/usr/src/freeswitch.git/libs/ldns/" and answer the following question:
Does the file configuration exist in that path?
Answer: [Yes]

Do you get the following error message:
"/bin/bash: /usr/src/freeswitch.git/libs/ldns/configure: No such file or directory"?
Answer: [Yes]

รูปที่ 6 ตัวอย่างการถามตอบของระบบกับผู้ใช้เพื่อวินิจฉัย

(กรณีไม่สามารถ Update FreeSWITCH ได้)

ท้ายที่สุดระบบจะแสดงปัญหาที่แท้จริงและวิธีการแก้ปัญหานั้นออกมาให้ผู้ใช้ได้ลองใช้แก้ปัญหาจริงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 วิธีการแก้ปัญหาที่ระบบแนะนำ

(กรณีไม่สามารถ Update FreeSWITCH ได้)

7. ข้อสังเขป

การพัฒนาระบบลักษณะนี้โดยที่จำเป็นต้องรวบรวมความรู้จากหลายๆแหล่งดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 ทำให้การพัฒนาระบบมีความซับซ้อนยิ่งขึ้นเนื่องจากต้องมีวิธีการคัดกรองข้อมูลจากแหล่งความรู้ต่างๆที่ไม่เหมือนกัน

ธรรมชาติของวิธีการแก้ปัญหา FreeSWITCH มีความหลากหลายถึงแม้ว่าจะมีสาเหตุของปัญหาที่เหมือนกัน บางวิธีการสามารถใช้แก้ปัญหาเดียวกันได้ แต่บางวิธีการอาจสามารถใช้แก้ปัญหาได้เฉพาะสภาพแวดล้อมหนึ่งๆเท่านั้น ปัญหาบางปัญหาจึงมีวิธีการแก้ไขมากกว่า 1 วิธีทำให้ยากในต่อสร้างฐานความรู้และยากต่อการลำดับการแสดงผลวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม ระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกพัฒนาให้มีการให้คะแนนกับวิธีการแก้ปัญหาตามความสำเร็จหรือไม่สำเร็จของผู้ที่ได้นำไปใช้เพื่อให้ระบบเรียนรู้และสามารถปรับลำดับวิธีแนะนำการแก้ปัญหาแสดงผลได้ดียิ่งขึ้น

อีกหนึ่งปัจจัยที่ระบบนี้สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกับการแก้ปัญหา FreeSWITCH โดยเฉพาะคือโดยตามธรรมชาติของการแก้ปัญหา FreeSWITCH จะใช้เวลาแก้ปัญหามากหรือน้อยแตกต่างกัน บางปัญหาใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีแต่ในบางปัญหาอาจจำเป็นต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง ดังนั้นระบบจึงมีลงทะเบียนผู้ใช้รองรับ ถ้าหากจำเป็นต้องใช้เวลานานในการแก้ไขปัญหา ระบบสามารถจดจำการให้คำแนะนำล่าสุดของผู้ใช้คนนั้นไว้ รวมทั้งถ้าหากวิธีการแก้ไขปัญหาที่ระบบแนะนำไปแล้วไม่สามารถนำไปแก้ปัญหาได้ ผู้ใช้สามารถกลับมาให้ Feedback กับระบบเพื่อให้ระบบเรียนรู้และระบบจะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาอื่นๆต่อไปในกรณีที่มีวิธีอื่นที่สามารถแก้ปัญหานั้นๆได้

8. สรุปผลและแนวทางการพัฒนาต่อ

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีวัตถุประสงค์ที่จะให้คำปรึกษาและเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับการใช้ FreeSWITCH กับผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านนี้ หรือเป็นระบบที่ให้ผู้เชี่ยวชาญจริงสามารถสืบค้นการแก้ไขเบื้องต้นเพื่อเพิ่มความมั่นใจแก่ตัวเอง จากการพัฒนาระบบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาเทคนิคด้านระบบผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการแนะนำหาแก้ปัญหา VoIP ที่ใช้ FreeSWITCH เป็นครั้งแรกและไม่ใช่เฉพาะในประเทศไทยเท่านั้น
- ระบบสามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาได้ โดยมีของเขตครอบคลุมปัญหาจากการติดตั้ง การเขียนโปรแกรมควบคุม และการใช้งาน FreeSWITCH
- ระบบสามารถแสดงวิธีการแก้ปัญหาจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้โดยการแทนความรู้แบบเฟรม ร่วมกับกลไกอนุมานแบบเดินหน้า

- ระบบสามารถจัดการกับการแสดงผลวิธีการแก้ปัญหาที่ต่างกันได้เช่น อยู่นอกเหนือขอบเขตของระบบ หรือวิธีการแก้ปัญหานั้นมีมากกว่าหนึ่งวิธี
- ระบบสามารถใช้แก้ปัญหาโดยทั่วไปของ FreeSWITCH ได้โดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเนื่องจากระบบสามารถวิเคราะห์ปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาเลียนแบบพฤติกรรมของผู้เชี่ยวชาญภายในขอบเขตของฐานความรู้ในระบบ แต่หากปัญหานั้นไม่มีอยู่ในฐานความรู้ที่มีหรือเป็นปัญหาที่ไม่เคยมีการแก้ไขมาก่อนระบบไม่สามารถวิเคราะห์นอกเหนือจากฐานความรู้ที่มีเสมือนกับผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ที่อาจไม่เคยเจอปัญหาทุกลักษณะมาก่อน
- ระบบนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ดูแลระบบ VoIP ที่ติดตั้งและใช้ FreeSWITCH และผู้ใช้งานต้องมีความเข้าใจในคำสั่งหรือคำถามของระบบรวมถึงสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำเพื่อแก้ปัญหา

แนวทางการพัฒนาต่อไปสามารถทำได้ในหลายมิติดังนี้

- แนวทางในการเลือก(Update)วิธีการแก้ปัญหาในกรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหามากกว่า 1 วิธี การ Update ข้อมูลบนพื้นฐานของ Bayesian Probability อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าได้รับการพิจารณา
- การสร้าง Knowledge Acquisition เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มฐานความรู้เองได้ในกรณีที่พบการแก้ปัญหาที่อยู่นอกขอบเขตของระบบ อุปสรรคของการพัฒนาด้านนี้อาจเกิดจากความจำเป็นต้องศึกษาระบบให้ดีก่อนซึ่งผู้ใช้ทั่วไปในปัจจุบันค่อนข้างจะไม่ค่อยให้ความสำคัญมากนัก
- การพัฒนา explanation facility เพื่อช่วยอธิบายสาเหตุหรือเหตุผลที่ระบบใช้ตัดสินใจ ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจต่อระบบมากขึ้น เทคนิคทาง user modeling อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าได้รับการพิจารณา

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนการศึกษาของนายปริญญา ปัญญาโต จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม (TRIDI) สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สพท.ทศ.ท 009/2552) และห้องวิจัยปฏิบัติการ IP-Based Communications, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

10. เอกสารอ้างอิง

[1] Sinnreich, H., Johnston, Introduction in Internet communications using SIP: delivering VoIP and multimedia services with Session Initiation Protocol, Wiley, New York, U.S.A., 2006.

[2] Minessale, A., et.al, FreeSWITCH 1.0.6, Packt Publishing, Birmingham, U.K., 2012.

[3] Giarratano, J.C., Riley.G.D. , Expert Systems: Principles and Programming, 4th Edition, Thompson, Boston, MA, U.S.A., 2005.

[4] Durkin, J., Expert systems: design and development, Macmillan, New York, U.S.A., 1994.

[5] กิตติชัย สวันยานนท์, ไชยรัตน์ ร่องวัฒนาการ, อภิวดี ปิยธรรมรงค์,และอนิวรรต สมบุตร, ระบบแนะนำการลงทุนในกองทุนรวม, Proc. of the National Conference on Information Technology 2006 (NCIT2006), 2-3 พฤศจิกายน, กรุงเทพ, 2549, หน้า 40 - 48.

[6] อนิวรรต สมบุตร, ไชยรัตน์ ร่องวัฒนาการ และ กิตติชัย สวันยานนท์, "การประยุกต์ใช้อนุมานย้อนกลับเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการลงทุนในกองทุนรวม",Proc. of the 4th Int. Conf. on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2007), 2-4 พฤษภาคม, ขอนแก่น, 2550, หน้า 369-374.

[7] กิตติชัย สวันยานนท์ และ สุกัญญา ศรีประไพพงศ์ศาล, "ระบบผู้เชี่ยวชาญการปฐมพยาบาล", วารสารวิศวกรรมสารวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย,ปีที่ 52, เล่มที่ 5 พฤษภาคม, 2542, หน้า 78-82.

[8] กิตติชัย สวันยานนท์, "ระบบผู้เชี่ยวชาญทางพฤกษนุกรมวิธาน",วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, ปีที่ 23, ฉบับที่ 1, มกราคม - เมษายน 2543, หน้า 29-42.

[9] พัฒน์พงษ์ ศิริกุล,"ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์",วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยาการคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.

[10] กฤชชนก รินทัว, "ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการท่องเที่ยว 6 จังหวัดฝั่งทะเลอันดามัน", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2549.

[11] Minessale, A., et.al, FreeSWITCH Cookbook, Packt Publishing, Birmingham, U.K., 2012.

[12] Minessale, A., "FreeSWITCH Communication Consolidation". Retrieved Jul 19, 2012, from www.FreeSWITCH.org

[13] Nabble, LLC., "FreeSWITCH-users". Retrieved Jul 19, 2012, from http://FreeSWITCH-users.2379917.n2.nabble.com

[14] Medinets, D., Php3: Programming Browser-Based Applications with PHP, 1st edition, McGraw-Hill, 1999.

ภาคผนวก ค.1
ผลการทดสอบและประเมินผลระบบโดยผู้ทดสอบที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ FreeSWITCH

(ตัวอย่าง) แบบสอบถามการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญการแก้ปัญหาการติดตั้ง FreeSWITCH

ข้อมูลผู้ทดสอบ

ชื่อ – นามสกุล _____

อาชีพ / ตำแหน่ง _____ **คณะ / สังกัด** _____

มหาวิทยาลัย / บริษัท / องค์กร

_____

ทำเครื่องหมายวงกลม ◯ เลือกตัวเลือกระดับความเชี่ยวชาญ 5 หมายถึงเชี่ยวชาญมากที่สุด และ 1 หมายถึงไม่มีความรู้ / ความเชี่ยวชาญเลย

1. **ความเชี่ยวชาญด้านการใช้งานคอมพิวเตอร์**

[5] ดีมาก [4] ดี [3] พอใช้งานได้ [2] ไม่ชำนาญ [1] ใช้งานไม่ได้

2. **ความเชี่ยวชาญด้าน VoIP**

[5] ดีมาก [4] ดี [3] พอใช้ [2] รู้เรื่องเล็กน้อย [1] ไม่มีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค

3. **ความเชี่ยวชาญด้าน FreeSWITCH**

[5] ดีมาก [4] ดี [3] พอใช้ [2] รู้เรื่องเล็กน้อย [1] ไม่มีความรู้ด้าน FreeSWITCH

4. **ได้ทำการทดสอบติดตั้ง VoIP ลงบนระบบปฏิบัติการ**

   _____

5. **ความยากของการติดตั้ง FreeSWITCH** [5] ยากมาก [4] ยาก [3] ปานกลาง [2] ง่าย [1] ง่ายมาก

6. **เกิดปัญหาระหว่างการติดตั้งหรือไม่** ◯ ไม่มีปัญหา ◯ มีปัญหา (ระบุปัญหาด้านล่าง)

_____

_____

_____

_____

_____

_____

หากพบปัญหาการติดตั้ง ให้ทดสอบการแก้ปัญหาด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญการแก้ปัญหาการติดตั้ง FreeSWITCH และทำแบบทดสอบหน้า 2

7. **การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญการแก้ปัญหาการติดตั้ง FreeSWITCH**

[5] ใช้งานยากมาก [4] ใช้งานยาก [3] ปานกลาง [2] ใช้งานง่าย [1] ใช้งานง่ายมาก

เหตุผล

_____

_____

_____

_____

_____

8. **ระบบผู้เชี่ยวชาญการแก้ปัญหาการติดตั้ง FreeSWITCH ช่วยแก้ปัญหาที่พบได้หรือไม่**
   ○ ช่วยได้ทุกปัญหาที่พบ ○ ช่วยได้บางปัญหา (โปรดรายละเอียดด้านล่าง) ○ ช่วยไม่ได้ (โปรดระบุรายละเอียดด้านล่าง)

_____

_____

_____

_____

_____

9. หากมีปัญหาที่ ระบบผู้เชี่ยวชาญการแก้ปัญหาการติดตั้ง FreeSWITCH ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ สามารถค้นหาจากแหล่งอื่นพบหรือไม่ ○ พบ ที่_____ ○ ไม่พบ

ลงชื่อผู้ทดสอบ

_____

วันที่ประเมิน

_____

ภาคผนวก ค.2

ผลการทดสอบและประเมินผลระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์คและ VoIP, ด้านฐานข้อมูล และด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์