

以機器學習方法進行遠端醫療治理

A Machine Learning Approach for Telemedicine Governance

作者：Shounak Pal

Is a Ph.D. student in the information technology and systems department at the Indian Institute of Management, (Lucknow, India) where he is a member of the ISACA® student group. He has worked as a software engineer in a leading multinational software consulting firm. He can be reached at fpm15015@iiml.ac.in.

Arunabha Mukhopadhyay

Ph.D. professor in the information technology and systems department at the Indian Institute of Management, Lucknow, India. He was the recipient of the Best Teacher in Information Technology Management Award from Star-DNA group B-School in 2011 and 2013, and the 19th Dewang Mehta Business School Award in 2013. He can be reached at arunabha@iiml.ac.in.

譯者：徐立群，國立成功大學會計學系教授，中華民國電腦稽核協會編譯出版委員會委員

遠端醫療是電子醫護的一部份，電子醫護是利用資訊以及通訊技術(ICT)提供健康照護，以克服距離並連結醫療者與患者。“遠端醫療不僅僅是關於患者和治療，對於設備的知識也很重要”¹。

遠端醫療有助於當地醫生進行遠端會診和遠端教育，有效率地將醫療服務提供給“偏遠地區、弱勢族群以及高齡人口”²，遠端醫療還可以通過遠端照護和監測來提供術後護理。^{3,4}

高效的遠端醫療計畫需要由病人、護理人員、訊息技術和參與於網路的醫院組成的活躍生態系統。積極的遠端醫療治理有助於確保高效的健康照護遞送體系，並提高體驗質量。⁵

本文提出了一個遠端醫療治理的兩階段決策支持系統(DSS)架構，稱為DSO-R模型。第一階段是部門會話組織(DSO)模型，它使用機器學習方法來預測遠端組織參與特定遠端醫療會診的可能性；第二階段是風險評估(R)模型。

中低收入國家的預算限制和遠端醫療需求不足，使得可用資源的最佳利用是必要的。我們使用印度TELEMED醫療中心的案例研究來驗證模型。

遠端醫療的障礙

全球的遠端醫療市場正在以14.3%的年均複合增長率(CAGR)成長，2014年至2020年預計將達到363億美元。遠端會診是最常見的遠端醫療會診類型之一。⁶儘管對遠端醫療的需求不斷增長，研究將遠端醫療的低普及率歸因於(圖1)：

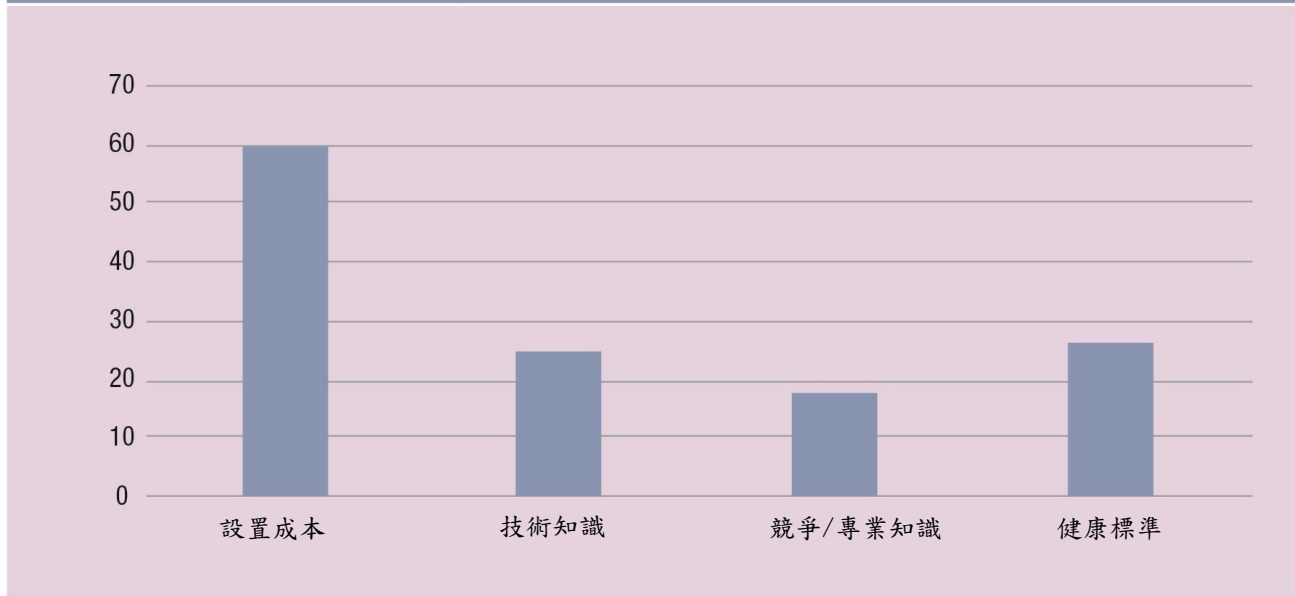
- 初始設置成本
- 照護遞送系統的競爭
- 缺乏技術知識
- 健康照護標準的關注^{7,8}

遠端醫療有一些初始設置和營運成本，需要從遠端醫療會診中獲得收入。因此，最佳會診次數能確保計畫的可持續性。⁹

應用DSO-R模型

跟糖尿病、加護病房或血液透析有關的遠端醫療會診在臨床決策支持系統(CDSS)中使用機器學習技術。^{10,11,12}DSO-R模型的目的是了解健康照護機構設立遠端醫療項目的目標及其傳統健康照護遞送的過程，同時決定最適合建立遠端醫療會診提案的健康照護機構。如果模型根據以下輸入參數通過其分類機制選擇了錯誤的遠端醫院，則可以人工計算進行遠端醫療會診的

圖一 遠端醫療的障礙



Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

組織之預期損失：

- 科別(即內分泌手術、輸血醫學科)
- 會診類型(即例行會診、術後護理、遠端共同大科會[tele-CGR])
- 接收機構類型(學術或非學術性)

從先前的知識中學習之後，遠端醫療DSO模型針對建立遠端醫療會診提案，預測最適合的合作夥伴醫療機構（例如，國家醫學院網路[NMCN]，東南亞遠端醫療論壇和副撒哈拉電子網絡項目）。這種模型可以幫助優化TELEMED在印度和國外的覆蓋範圍。

這個風險估計模型在DSO模型預測適當的夥伴醫療保健機構產生誤分類時，可計算預期損失。風險計算取決於決策樹的準確率，遠端醫療患者的利益，可用的內部治療以及入院患者的財務影響。圖2顯示了提議的DSO-R模型。

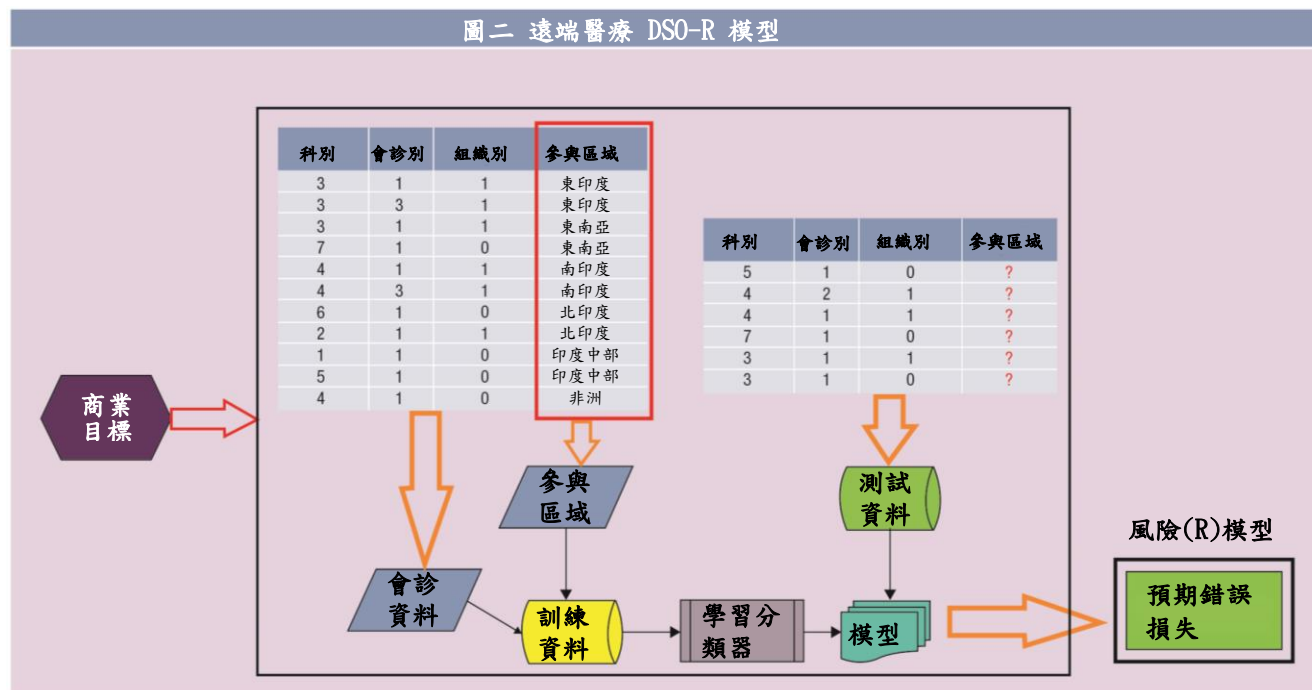
印度的遠端醫療

印度聯合工商會（Assocham）報告印度遠端醫療市場的年增長率為20%，估計其市場價值在2020年前將翻一倍，達到3200萬美元。¹³ 遠端醫療服務遞送是印度

的理想選擇，因為印度有廣闊的偏遠山區，部落地區和島嶼。¹⁴ 其中”75%的醫生在城市執業，23%在半城市地區，只有2%在農村地區，而絕大多數人口在農村地區生活”。¹⁵

基督教醫學院（CMC）和全印度醫學院（AIIMS）新德里的遠端醫療項目是與日本國際協力機構（JICA）合作成立的。JICA為遠端醫療計劃的IT設備提供了初始投資。印度政府在2007-2012年的第十一個五年規劃中列出了11個州（包括安達曼-尼科巴和拉克沙群島）和8個建立了遠端醫療項目的專業醫院網路。¹⁶ 所使用的通信類型是視頻衛星（VSAT或Sky IP），整合服務數位網路（ISDN）或兩者。不同遠端醫療項目的資助和執行機構由印度太空研究組織（ISRO）、高級計算發展中心（CDAC）、IIT 卡拉格普爾分校等組織執行。印度信息技術部也擔任幾項遠端醫療項目的催化者。¹⁷

圖二 遠端醫療 DSO-R 模型



Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

個案探討

我們使用TELEMED醫療中心的一個案例來度量和驗證DSO-R模型。TELEMED在印度勒克瑙的願景是從美國國立衛生研究院（NIH）臨床中心採納來的：

TELEMED打算成為亞洲頂級的醫療機構，強調盡量減少長途出行的疾病治療。TELEMED還要藉由配有技術熟練的醫生，護士和技術人員以及能夠符合國際規範的最佳實踐，打算成為超級專業醫療單位。¹⁸

TELEMED是一家三級轉診學術醫療中心，主要從事30個部門中心的18個專科部門的培訓和教學工作。醫療中心的目標包括提供最先進的三級醫療保健，以及通過教學及訓練進行超級專業研究和能力建設。

TELEMED為了遠端醫療的教育、研究、培訓和應用已經邁向維護一個發展良好的基礎設施。

TELEMED同時獲得校內和校外項目資助，幫助維持遠端醫療項目和研究工作。資助機構包括幾個國家和國際資助機構。TELEMED還進行了大約450個校內項目，幫助其維持研究動力。¹⁹

TELEMED希望分析其與遠端組織（學術或非學術性）參與遠端醫療會診（一般會診，術後照護和遠端CGR）之有關部門的過去數據。

另外，也有必要確定因為使用DSO-R模型做出錯誤決定相關的風險。清楚與風險相關的成本可以幫助優化遠端醫療會診效用並使損失最小化。

所使用的方法

本節介紹TELEMED案例研究中使用的方法。

DSO模型

TELEMED的過去數據由類別變數組成，有不同的級別。這種類型的數據集適合於開發分類規則，這些分類規則能從給定的屬性模式中識別目標。²⁰分類樹是藉

由 MATLAB R2012a 程序實現。該程序根據用戶輸入的預測變數來預測遠端組織的位置。分類規則是針對給定數據算出不同區域的發生機率。分類樹的準確性是通過用過去數據集的 80% 訓練分類樹並使用剩餘的 20% 作為測試集來測試的。這種 DSO 模型有助於減少遠端醫療會診之低效用風險。

風險(R)模型

R 模型進一步確定決策樹的準確性。醫院的住院治療費用相當可觀（美國約為 43%）。²¹ 如果患者未能通過預定的遠端醫療得到適當治療，則患者和醫院的費用將增加。我們用一個使用 ICT 天數和擴散率的指數函數來計算使用遠端醫療的患者數量（圖 3）。

圖 3 - 使用遠端醫療治療的患者人數

使用遠端醫療治療的患者人數 =

$$\frac{\text{設置遠端醫療中心所在的農村的人口}}{1 + e^{-bx}}$$

b = ICT 的擴散率

x = 在遠端位置推出遠端醫療中心後的天數。

Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

圖 3 中公式的結果用於圖 4 的公式中，以決定每天的預期損失。

圖 4 - 每天預期損失

預期每日損失 = 人口 * (1 - 地點分類的準確性) * 到達遠端醫療中心接受治療的患者人數 * {1 - 機率 (可用治療)} * 機率 (患者需要進一步治療) * 病患入院對貨幣影響

我們將“由於患者入院造成的貨幣影響”表示為負值

Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

數據

TELEMED 遠端醫療項目組在 2007 至 2015 年期間進行的每個遠端醫療的會診詳細數據由 2,612 個數據點組成，這些數據點歸類於圖 5 中。它們由 30 多個部門和三個會診類型組成，即一般會診、後續會診和遠端 CGR 會診。與 TELEMED 相關的幾個合作健康照護的概念，以致於他們可以對行動支付做出風險決策。在國際電腦稽核協會所發佈的白皮書，手機是不是安全支付的贏家？簡介了企業價值建議及描述了一些可以提高安全性的控制方法。

組織參與教學和病人照護。合作醫院分為教學和非教學組織類型。為了簡化說明，圖 5 僅顯示了前七個部門（以最大會診數量計），並將夥伴分為六個區域。

本案例研究的目的是建立位置（區域）和會診類型之間的模式，以確保無差錯的決策。該結果還可以用於推薦進行新會診的區域，並且可以作為 TELEMED 風險緩解策略的一部分。

結果

DSO 模型

在 DSO-R 模型的第一階段，其結果區域是根據它們對於預測器集合的發生機率所決定。圖 6 中所示的決策樹可以基於特定的一組預測變數建議單個區域。

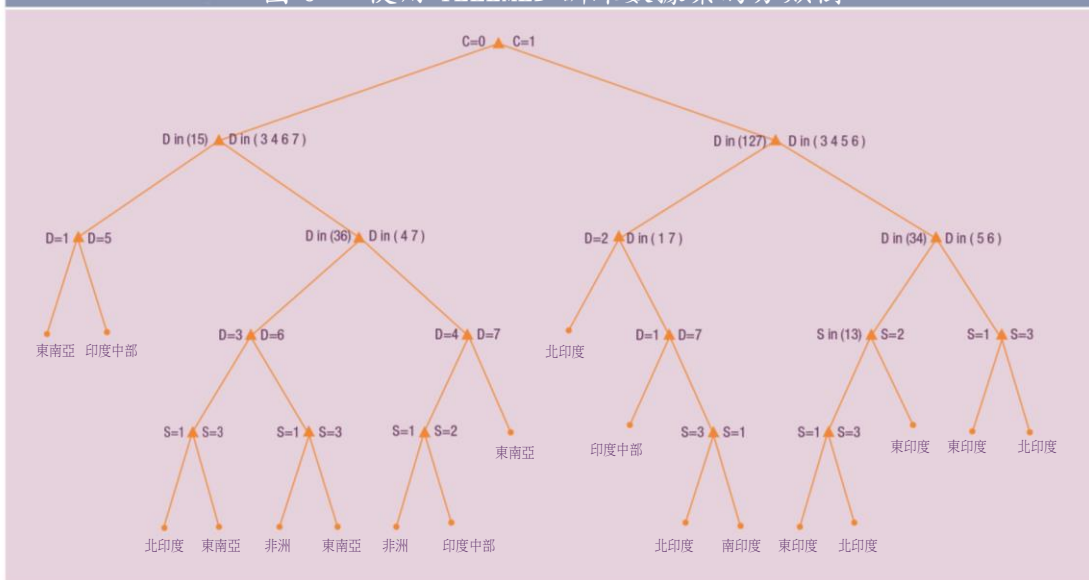
圖 7 比較了預測數據和測試數據。並非所有的預測數據都與測試目標數據相匹配。預測樹在測試數據集的 523 個（80%）中預測了 415 個。然而，由於遠端醫療活動中這些區域的會診數量較多，接受者操作特徵（ROC）曲線在 S-E-A，南印度和東印度表現更好（圖 8）。由於訓練和測試數據之間缺乏一致性，印度中部和印度北部地區的準確度較低。預測準確性受訓練數據集的先驗知識的高度影響，因此可能是個弱推薦系統。

圖 5 - 用於 TELEMED 的分類數據集

科別 (D)	1. 行政活動 2. 案例教學 3. 臨床免疫學 4. 內分泌手術 5. 護理技能 6. 病理學 7. 輸液學
會診別 (S)	1. 一般會診 2. 術後護理 3. 遠端 CGR
組織別 (C)	1. 非教學醫院 2. 教學醫院
目標：區域	1. 非洲 2. 東南亞(S-E-A) 3. 東印度 4. 印度中部 5. 南印度 6. 北印度

Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

圖 6 - 使用 TELEMED 訓練數據集的分類樹



Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

圖 7-分類器在測試數據集上的有效性

科別	會診別	組織別	目標值	實際值
5	1	0	中印度	中印度
4	2	1	東印度	東印度
4	1	1	東印度	北印度
7	1	0	東南亞	東南亞
3	1	1	東印度	南印度
3	1	0	非洲	非洲

Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

風險(R)模型

在 DSO-R 模型的第二階段，圖 4 中的等式用於計算由於第一階段決策樹的錯誤分類而導致的預期損失。在印度一個人口為 3000 人的農村，ICT 的傳播速度很慢（0.05）。因此，到達遠端醫療中心進行治療的患者人數是農村人口數的一小部分。對於公立專科醫院來說，降低成本總是很重要的。決定的準確率四捨五入為 70%。為了模擬，我們使用圖 4 中的等式，其中概率（可用治療）設為 12%，概率（患者旅行進一步治療）設為 60%，貨幣影響假設是 135 美元。圖 9 顯示了計算結果，並計算了每一天的平均預期損失。

結論

我們對數據和會診的細節進行了仔細

的分析，然後通過根據 TELEMED 的遠端醫療會診的頻率選擇適當的部門進一步簡化了數據集。DSO-R 模型確保更好地利用遠端醫療會診，因為我們已經取得遠端組織參與特定會診的機率。

該模型有助於在選定區域遠端醫療會診時，更快地作出決策，並通過預先計算由於分類樹錯誤所帶來之預期損失來幫助風險識別。

然而，由適當的醫院名稱而不是區域組成的數據集會提高預測的準確性，因而也改善使用 DSO-R 模型的預期損失。DSO-R 模型的未來發展將應用更強大和智能的機器學習技術來提高預測精度。

我們也將探討使用現場數據造成誤分類的效應，這將有助於研究可增加或減少遠端醫療會診預期損失的相關因素。

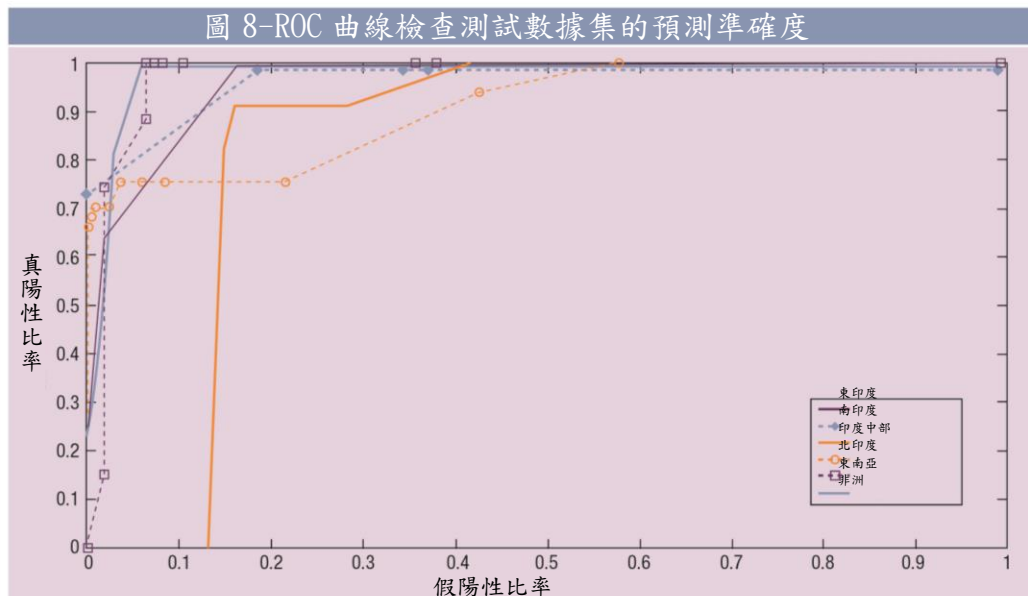


圖 9-ROC 曲線在測試階段檢查預測精度

天	使用遠距醫療的人數	可治療	需要進一步治療的人數	預期總損失美元(\$)
1	81	10	5	690
2	86	10	5	737
3	92	11	6	783
4	97	12	6	828
平均一天預期損失 =				759.5

Source: S. Pal, A. Mukhopadhyay. Reprinted with permission.

END NOTES

- 1 Hall, S.; “Global Telemedicine Market Forecast: 18.5% Growth Rate Through 2018,” FierceHealthcare, 16 December 2013, www.fiercehealthcare.com/it/globaltelemedicine-market-forecast-18-5-growthrate-through-2018
- 2 World Health Organization, “Third Global Survey on eHealth,” 2015, www.who.int/goe/survey/goe_2015_survey_en.pdf?ua=1
- 3 European Commission, “Telemedicine for the Benefit of Patients, Healthcare Systems and Society,” Commission Staff Working Paper, EC (2009) 943 final, 2009
- 4 Telemedicine Healing Touch Through Space, “Enabling Specialty Health Care to the Rural and Remote Population of India,” Indian Space Research Organisation, Publications and Public Relations Unit, ISRO Headquarters, Bangalore-560094, p. 3-5
- 5 May, C. R.; M. M. Mort; F. S. Mair; T. Finch; “Telemedicine and the ‘Future Patient’?: Risk, Governance and Innovation,” Economic and Social Research Council, 2005, www.york.ac.uk/res/ihtr/researchfindings/MayFindings.pdf
- 6 MedGadget, “Telemedicine Market—Rising Demand for Personal Healthcare Solutions to Boost Deployment of Telemedicine Services, Says TMR,” August 2014, www.medgadget.com/2016/08/telemedicine-market-risingdemand-for-personal-healthcare-solutions-to-boost-deployment-of-telemedicineservices-says-tmr.html
- 7 Gulube, S. M.; S. Wynchank; “Telemedicine in South Africa: Success or Failure?,” *Journal of Telemedicine and Telecare*, 7 (Supplement 2), 2001, p. 47-49, https://www.researchgate.net/publication/11608739_Telemedicine_in_South_Africa_Success_or_Failure
- 8 World Health Organization, “Global Observatory for eHealth: Survey 2009 Figures,” 2009, www.who.int/goe/survey/2009/figures/en/index1.html
- 9 Whitten, P. S.; F. S. Mair; A. Haycox; C. R. May; T. L. Williams; S. Hellmich; “Systematic Review of Cost Effectiveness Studies of Telemedicine Interventions,” *BMJ*, 15 June 2002, www.bmj.com/content/324/7351/1434
- 10 Bellazzi, R.; C. Larizza; S. Montani; A. Riva; M. Stefanelli; G. d’Annunzio; J. Cermenio; “A Telemedicine Support for Diabetes Management: The T-IDDM Project,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 69, iss. 2, September 2002, https://www.researchgate.net/publication/11275070_A_telemedicine_support_for_diabetes_management_The_T-IDDM_project
- 11 Thursky, K. A.; M. Mahemoff; “User-centered Design Techniques for a Computerised Antibiotic Decision Support System in an Intensive Care Unit,” *International Journal of Medical Informatics*, 2006, [www.ijmijournal.com/article/S1386-5056\(06\)00201-2/pdf](http://www.ijmijournal.com/article/S1386-5056(06)00201-2/pdf)
- 12 Rose, C.; C. Smaili; F. Charpillet; “A Dynamic Bayesian Network for Handling Uncertainty in a Decision Support System Adapted to the Monitoring of Patients Treated by Memodialysis,” *ICTAI ‘05 Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Tools With Artificial Intelligence*, 2005, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1106120>
- 13 B2B Bureau, “Indian Telemedicine Market to Become More Than Double by 2020,” *Business Standard*, June 2016, www.business-standard.com/content/b2b-pharma/indian-telemedicine-market-to-become-more-than-double-by-2020-116060600568_1.html

- 14 *Ibid.*
- 15 Mishra et al.; 25 Years Anniversary SGPGI Souvenir, 2013, sgpgi.edu.in/pdf/25%20Aniversary%20SGPGI%20souvenir.pdf
- 16 *Op cit*, Thursky
- 17 Government of India Planning Commission, "Report of the Working Group on Health Informatics Including Tele-medicine," 2016, www.planningcommission.gov.in/plans/planrel/11thf.htm
- 18 *Op cit*, Mishra et al.
- 19 *Ibid.*
- 20 Quinlan, J. R.; "Induction of Decision Trees," *Machine Learning*, vol. 1, 1986, p. 81-106, www.hunch.net/~coms-4771/quinlan.pdf
- 21 Klaassen, B.; B. J. van Beijnum; H. J. Hermens; "Usability in Telemedicine Systems—A Literature Survey," *International Journal of Medical Informatics*, 2016, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27435948>

Quality Statement:

This Work is translated into Chinese Traditional from the English language version of Volume 1, 2017 of the ISACA Journal articles by the Taiwan Chapter of the Information Systems Audit and Control Association (ISACA) with the permission of the ISACA. The Taiwan Chapter assumes sole responsibility for the accuracy and faithfulness of the translation.

品質聲明：

ISACA臺灣分會在ISACA總會的授權之下，摘錄ISACA Journal 2017, Volume 1 中的文章進行翻譯。譯文的準確度及與原文的差異性則由臺灣分會獨立負責。

Copyright

© 2017 of Information Systems Audit and Control Association (“ISACA”). All rights reserved. No part of this article may be used, copied, reproduced, modified, distributed, displayed, stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise), without the prior written authorization of ISACA.

版權聲明：

© 2017 of Information Systems Audit and Control Association (“ISACA”). 版權所有，非經ISACA書面授權，不得以任何形式使用、影印、重製、修改、散布、展示、儲存於檢索系統、或以任何方式(電子、機械、影印、或錄影等方式)發送。

Disclaimer:

The ISACA Journal is published by ISACA. Membership in the association, a voluntary organization serving IT governance professionals, entitles one to receive an annual subscription to the ISACA Journal.

Opinions expressed in the ISACA Journal represent the views of the authors and advertisers. They may differ from policies and official statements of ISACA and/or the IT Governance Institute and their committees, and from opinions endorsed by authors’ employers, or the editors of this Journal. ISACA Journal does not attest to the originality of authors’ content.

Instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee. For other copying, reprint or republication, permission must be obtained in writing from the association. Where necessary, permission is granted by the copyright owners for those registered with the Copyright Clearance Center (CCC), 27 Congress St., Salem, MA 01970, to photocopy articles owned by ISACA, for a flat fee of US \$2.50 per article plus 25¢ per page. Send payment to the CCC stating the ISSN (1526-7407), date, volume, and first and last page number of each article. Copying for other than personal use or internal reference, or of articles or columns not owned by the association without express permission of the association or the copyright owner is expressly prohibited.

免責聲明：

ISACA Journal係由ISACA出版。ISACA 為一服務資訊科技專業人士的自願性組織，其會員則有權獲得每年出版的ISACA Journal。

ISACA Journal收錄的文章及刊物僅代表作者與廣告商的意見，其意見可能與ISACA以及資訊科技治理機構與相關委員會之政策和官方聲明相左，也可能與作者的雇主或本刊編輯有所不同。ISACA Journal 則無法保證內容的原創性。

若為非商業用途之課堂教學，則允許教師免費複印單篇文章。若為其他用途之複製，重印或再版，則必須獲得ISACA的書面許可。如有需要，欲複印ISACA Journal 者需向Copyright Clearance Center(版權批准中心，地址：27 Congress St., Salem, MA 01970) 付費，每篇文章收取2.50元美金固定費用，每頁收取0.25美金。欲複印文章者則需支付CCC上述費用，並說明ISACA Journal 之ISSN 編碼(1526-7407)、文章之出版日期、卷號、起訖頁碼。除了個人使用或內部參考之外，其他未經ISACA或版權所有者許可之複製行為則嚴明禁止。