

文章编号: 1001-893X(2010)12-0009-05

无线网络自动优化模型的知识获取^{*}

于友成

(西安邮电学院 通信与信息工程学院, 西安 710121)

摘 要:给出了移动通信无线网络自动优化系统的体系结构,提出了一种知识获取,即利用贝叶斯概率模型构建无线网络自动优化模型的方法和过程。理论分析表明,该方法是可行的。对于当前和未来移动通信无线网络自动优化的实现,该方法具有一定的理论指导意义和实际应用价值。

关键词:移动通信;无线网络;自动优化;知识获取;关键性能指标

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.12.003

Knowledge Acquisition for Automatic Optimization Model in Wireless Networks

YU You-cheng

(School of Telecommunications and Information Engineering,
Xi'an Institute of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: The structure of automatic optimization system in wireless networks of mobile communication is given, a method and the process for knowledge acquisition is proposed to construct automatic optimization model in wireless networks by means of Bayesian probability model. Theoretical analysis shows that this method is feasible. For the realization of automatic optimization in both the present and the future wireless networks of mobile communication, this method has certain theoretical significance and practical value.

Key words: mobile communication; wireless network; automatic optimization; knowledge acquisition; KPI

1 引 言

近年来,全球的移动通信网发展迅猛。2009 年全球 3G 用户达到 6.5 亿,预计今年可以达到 20 亿。截至今年 6 月底,中国在网 3G 用户数达到 2 520 万,其中 TD 用户达 1 046 万。未来,全球的移动通信网将由多种技术构成一个无缝的移动通信基础设施。超 3G 移动通信网^[1]的无线接入网络(RAN)由不同技术、高度复杂和异构的多种网络组成,其运行、维护和管理(OA&M)是一项艰巨的任务。同时,由于移动网络运营商之间的竞争愈演愈烈,RAN 的运行将是他们必须面对的严峻挑战。自我管理系

统,即自我配置、自我保护、自愈和自我优化,是应对高度竞争环境下这些网络所固有的高复杂性的有效解决方案。尽管文献[2-5]等对自愈(即自我诊断)进行了大量的研究,但对自我优化或自动优化方面的相关研究,现有文献资料几乎很少涉及。因此,本文在给出无线网络自动优化系统结构的基础上,提出一种通过对优化专家的知识获取,利用贝叶斯概率模型建立无线网络自动优化模型的方法和过程。

2 自动优化

2.1 概念

无线网络优化的重点,一是提升用户感知的网

^{*} 收稿日期:2010-08-26;修回日期:2010-10-14

络性能指标,主要包括掉话、切换、覆盖、干扰等;二是提高网络资源的利用率,解决网络容量和网络资源的均衡问题。随着对网络深度优化要求的提高,目前所采用的基于路测和信令分析工具的主流优化方式已无法满足要求,基于 OMC - R 网络统计数据的自动网络优化技术应运而生。

无线网络自动优化包括 3 项工作:一是发现问题,二是分析问题,三是解决问题。

首先,对网络进行性能评估,找出关键性能指标(KPI)不满足优化目标指标要求的问题小区。问题小区是指一个小区的一个或多个 KPI 不满足指标要求,从而影响服务质量。不同运营商,不同技术网络,可能会使用不同的方法,或采用不同的 KPI 性能指标作为优化目标。对于运营商而言,最严重的问题莫过于小区经历了大量的掉话,因为掉话对用户服务具有极大的负面影响。因此,掉话率是评估小区质量的最好指标之一,可以用来识别问题小区。

其次,一旦确定了问题小区,就应对每个问题小区问题产生的原因进行分析。一个原因或故障是一个小区中存在的逻辑错误或物理缺陷,如参数配置错误、硬件故障等,从而导致 KPI 不满足指标要求。症状是一个 KPI 或告警,如干扰造成的切换数量,根据症状统计值可以找出问题的原因。分析问题是复杂和最耗时的工作,目前主要是由优化专家们借助一些辅助工具手动完成的。

最后,根据问题的原因,制定并实施优化方案,解决问题小区存在的问题。优化的效果可以通过对优化后的网络性能进行重新评估来衡量。

自动优化的过程可概括为首先定义约束条件,然后构建模型,最后设计收敛算法。

2.2 自动优化系统

为了实现无线网络的自动优化,图 1 给出了自动优化系统的体系结构。

模型定义子系统负责构建系统所需的优化模型。建立优化模型既可依据优化专家的专业知识,亦可根据 OMC - R 提供的网络统计数据。模型参数可以采用两种方式来确定:一是专家提供(基于知识的模型),二是来自训练数据(基于数据的模型)。目前,在移动通信网络中,缺少历史优化实例。在现有文献资料中,也缺少无线网络 RAN 优化的记录。因此,在大多数情况下,网络优化专家的知识 and 经验就成为建立优化模型唯一的信息来源。下一部分将提出一种获取知识的过程,根据优化专家无线网络

优化的知识和经验建立概率模型。该过程的主要优点是,优化专家可以使用其专业语言传递其专业知识,无需了解概率模型,也可很容易地建立模型。

自动优化子系统,首先通过网络性能分析,找出基于 KPI 的问题小区,然后,利用优化模型进行推理,找出问题的原因。对于给定的 KPI 值,采用优化模型和贝叶斯规则,计算出问题可能原因的概率。输入是症状,即来自 OMC - R 的问题小区的 KPI 和告警;输出是问题小区问题的原因和一系列优化方案。优化方案按有效性排序(有效性 = 优化方案的可能性/优化方案的成本),按顺序实施,直到问题解决。优化方案的实施可以从一个远程终端修改配置参数,也可以是派遣人员到现场更换设备故障件,甚至可以是自动地执行软件相关的优化方案。一般来说,运营商更希望只提供优化方案,而把最后的决定权留给优化专家。最后,生成优化报告,包括原因、优化方案及其实施过程和结果。

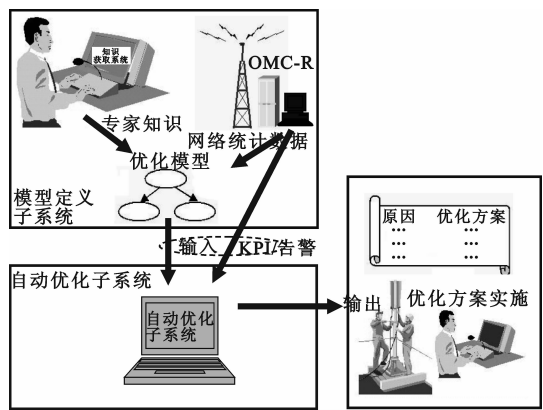


图 1 自动优化系统平台
Fig.1 Automatic optimization system platform

自动优化子系统可独立于 OMC - R 工作,也可以集成或嵌入到 OMC - R,以发挥其最大效能,从而实现自我优化。自我优化将提供对问题分析所需 OMC - R 统计数据的直接访问,以及运营商优化系统的直接进入,对多厂商网络和多技术网络更有利。因此,所有有关的自动优化的案例,可自动转到自我优化系统。如果自我优化系统找到了解决方案,就清除该案件,生成报告并存档;否则,可以将该案件转交专家做进一步分析。最后的分析结果可纳入专家系统的知识库。

3 概率模型

自动优化子系统包括优化模型和推理机制两部分,其中优化模型是如何确定问题原因的知识,模型

的组成元素是原因和症状,推理机制是根据症状值分析问题原因的算法。

构建优化模型包括两个阶段。首先,确定定性模型,即对于给定的技术(GSM、CDMA、3G 和多技术网络等)给出优化的症状和原因。原因可以模型化为具有两种状态的离散随机变量: {出现,不出现}。症状可以概括为 KPI 和告警两种类型,KPI 本质上是连续的,可以模型化为连续或离散随机变量。离散化的 KPI 可能有任意多个离散状态,分别表示该 KPI 的连续范围内的一个子集,如 {正常,高,很高}。告警也可以模型化为具有两种状态的离散随机变量: {无,有}。其次,确定定量模型,即模型的参数。在一个离散模型中,参数就是离散化 KPI 的阈值和概率。

一旦确定了定性和定量模型,就可以利用推理机制来计算每个可能原因的概率。对于给定症状值 $\{S_1, S_2, \cdots, S_{N_S}\}$,应用贝叶斯规则,得到原因 C_i 的概率如下:

$$P(C_i | E) = \frac{P(C_i) \cdot \prod_{j=1}^{N_S} P(S_j | C_i)}{\sum_{i=1}^{N_C} P(C_i) \cdot \prod_{j=1}^{N_S} P(S_j | C_i)} \quad (1)$$

式中, $P(C_i)$ 为原因 C_i 的先验概率, $P(S_j | C_i)$ 是给定原因症状的概率。

上式假设两个条件:原因不能同时发生;对于给定的原因,症状间相互独立。以上假设适用于无线

网络 RAN,即使不适用,这种模型已经被证明能提供很好的结果^[6]。

假设一个实例为问题小区的对称值和问题的实际原因组成的集合,那么这样的实例既可用于训练系统,即计算模型的参数,亦可用于测试系统,即计算优化的准确率(在测试集中实例正确分类的百分比)。

模型的参数是阈值和概率。一方面,阈值是连续症状离散化的区间,即 $t_{j,k}$ 是症状 S_j 的第 k 个阈值,分成状态 $s_{j,k}$ 和 $s_{j,k+1}$;另一方面,根据式(1),概率如下:

- (1)原因的先验概率: $P(C_i), i = 1, 2, 3, \cdots, N_C$;

(2)给定原因症状的条件概率: $P(S_j = s_{j,k} | C_i), i = 1, 2, 3, \cdots, N_C; j = 1, 2, 3, \cdots, N_S$, 它是给定原因 C_i 在状态 $s_{j,k}$ 下症状 S_j 的概率。

4 知识获取

知识获取的过程就是根据优化专家的知识构建概率模型的过程,包括两个阶段:第一阶段,知识收集,即获得专家知识;第二阶段,构建模型,即根据先前获得的专家知识确定概率模型。

4.1 知识收集

知识收集的过程包括以下 6 个步骤。表 1 和表 2 分别汇总了优化专家应提供的定性信息和定量信息。

表 1 定性信息

Table 1 Qualitative information

参数	范围	描述	实例
F_i	$i = 1, 2, \cdots, N_F$	问题类型, N_F : 问题类型的数量	F_1 = 掉话率高
C_i	$i = 1, 2, \cdots, N_C$	原因, N_C : 原因的数量	C_1 = 上行干扰
S_i	$i = 1, 2, \cdots, N_S$	症状, N_S : 症状的数量	S_{10} = 上行干扰切换数量
$s_{i,j}$	$i = 1, 2, \cdots, N_S$ $j = 1, 2, \cdots, N_{S_i}$	症状状态 N_{S_i} : 症状 S_i 状态的数量	$S_{10,1}$ = “低”
$C_r^i = \{C_{r_1}^i, C_{r_2}^i, \cdots, C_{r_{N_{Ri}}}^i\}$	$i = 1, 2, \cdots, N_S$	与症状 S_i 相关的原因集合 N_{Ri} : 与症状 S_i 相关原因的数量	$C_r^1 = \{C_1, C_3\}$

表 2 定量信息

Table 2 Quantitative information

参数	范围	描述	参数数量
$t_{i,j}$	$i = 1, 2, \cdots, N_S$ $j = 1, 2, \cdots, N_{Ti}$	症状 S_i 的阈值 j N_{Ti} : 症状 S_i 阈值的数量	$\sum_{i=1}^{N_S} N_{Ti}$
P_{Ci}	$i = 1, 2, \cdots, N_C$	原因为 C_i 的概率	N_C
$P_{Si,j Ck}$ $\forall C_k \in C_r$	$i = 1, 2, \cdots, N_S$ $j = 1, 2, \cdots, N_{Si}$	$\forall h \neq k$ 给定原因 $C_k = 1$ 且 $C_h = 0$, 症状 $S_i = s_{i,j}$ 的概率	$\sum_{i=1}^{N_S} N_{R_i} \cdot N_{S_i}$
$P_{Si,j C_0}$	$i = 1, 2, \cdots, N_S$ $j = 1, 2, \cdots, N_{Si}$	$\forall C_k \in C_r$ 给定原因 $C_k = 0$, 症状 $S_i = s_{i,j}$ 的概率	$\sum_{i=1}^{N_S} N_{S_i}$

(1)问题分类

问题类型就是 RAN 可能遭受的各种问题,如“高掉话率”或“拥塞”。对每个问题类型,建立一种不同的模型。

(2)定义变量

应该有原因和症状数据库,优化专家可以从数据库中选择一个变量,或定义一个新变量,然后将其纳入到数据库。首先,优化专家指定问题类型的可能原因 $\{C_1, C_2, \dots, C_{N_c}\}$,即无线网络中问题的原因,据此建立优化模型(如“高掉话率”)。建议包括一个叫做“其它原因”的原因,以涵盖在已定义原因中没有明确界定的问题的其它可能原因。其次,要求专家列举症状 $\{S_1, S_2, \dots, S_{N_s}\}$,这可能有助于确定先前定义的原因。每个症状 S_i 的状态 $s_{i,j}$ 也应作出具体的规定。

(3)定义关系

界定与每一个症状 S_j 相关和不相关的原因,相关的原因 $C_r^i = \{C_{r_1}^i, C_{r_2}^i, \dots, C_{r_{N_{Si}}}^i\}$,不相关的原因 $C_n^i = \{C_{n_1}^i, C_{n_2}^i, \dots, C_{n_{N_c - N_{Si}}}^i\}$ 。“相关的”是指那些具有很强的直接相互关联的变量。例如,原因“欠覆盖”与症状“上行电平小于 -105 dBm 的样本百分比”相关,而原因“上行干扰”与该症状不相关。原因是,与正常小区相比,欠覆盖降低了接收信号电平,而当原因是干扰时,与正常小区相比,接收信号电平不会显著降低。

(4)确定阈值

对于每个连续的症状 S_i ,确定每个定义区间范围(即阈值) $t_{j,k}$ 。

(5)确定概率

往往建议以文字概率表达式作为征求概率信息的方法^[7]。文字表达式应尽量少,以避免误解。此外,最好使用一边带数字另一边带文字的图例。在无线网络中,可以要求专家从 5 个等级的概率中选择一个:“几乎确定”、“很可能”、“50-50”、“不大可能”和“不太可能”,这些等级分别映射到概率 0.85、0.7、0.5、0.3 和 0.1。确定概率的过程如下:首先,向专家询问问题的每个可能原因的先验概率 P_{C_i} ,由于原因只有两种状态{不出现,出现},因此只需要确定出现原因的概率;其次,还要确定症状的概率。对于症状 S_j ,假定每一个相关的原因 $C_k \in C_r^i$ 出现,而其它原因未出现,所要确定的概率 $P_{S_{i,j}|C_k}$,应该是该症状每个状态的概率。此外,还要假定相关的原因

都不出现,确定症状的每个状态的概率 $P_{S_{i,j}|C_0}$ 。当然,优化专家都应确保症状所有状态的概率和为 1。

(6)将症状映射到数据库(OMC-R)

将模型中症状映射到 OMC-R 中的数据,每个症状应该与 OMC-R 中的一个参数(KPI、计数器等)或一组参数相关联。

4.2 构建模型

根据式(1),建立模型所需的概率为原因的先验概率 $P(C_i)$ 和给定原因下症状的概率 $P(S_j|C_i)$ 。因此,优化专家所提供的数据(表 1 和表 2)应转化为式(1)所需的概率。优化专家所给出的概率 P_{C_i} 直接作为原因的概率 $P(C_i)$ 。考虑到该模型假设原因是互斥的,所以原因的概率之和应为 1。有两种方式处理该约束条件:一是由专家检查其给出的概率是否正确;二是允许给出的概率不符合约束条件,然后采用下列方法自动修正:

(1)如果概率之和大于 1,那么就对每个概率进行归一化处理;

(2)如果概率之和小于 1,那么就添加一个称为“其它”的原因 C_{N_c+1} ,表示专家未考虑到的问题的所有其它原因,其概率等于 1 减去原来原因的概率之和。

对于症状的概率 $P(S_j = s_{j,k} | C_i)$, S_j 对于相关原因的条件概率已经由专家明确给出:

$$P(S_j = s_{j,k} | C_i) = P_{S_{j,k}|C_i}, C_i \in C_r^j \quad (2)$$

对于所有非相关原因,症状的条件概率都是相同的,即:

$$P(S_j = s_{j,k} | C_i) = P_{S_{j,k}|C_0}, C_i \in C_n^j \quad (3)$$

4.3 实证分析

知识获取所建立的优化概率模型,是一种基于知识的模型,需要经过灵敏度分析和实际网络使用来验证其有效性。

根据文献[8]中灵敏度分析显示,基于知识的模型对阈值的界定不准确尤其敏感。实验也证明,当训练实例数目有限或缺乏时,基于知识的模型是最好的选择。反之,当拥有一个大型的训练实例数据库时,基于数据的模型应该是首选。

由于缺乏且很难得到训练实例,所以在大多数情况下,基于知识的模型是 3G 和 B3G 无线网络 RAN 的唯一选择。建立基于知识的模型需要很长时间,特别是参数必须在实际网络中反复测试调整。对现行网络而言,可行的方法是先从基于知识的模

型开始。每解决一个问题,就将相关的症状和实际原因保存到数据库,这样,训练实例数据库将会不断扩展,不久即可使用基于数据的模型。

5 结 论

无论对于当前还是未来的移动通信无线网络(包括 GSM、CDMA、WLAN、3G、B3G 网络等),实现自我优化是必由之路。本文从理论上研究了移动通信无线网络的自动优化,给出了无线网络 RAN 自动优化的系统体系结构,提出了一种从优化专家进行知识获取建立系统所需优化模型的方法和过程。理论分析表明该方法和过程的可行性,对于自我优化系统的实现具有一定的理论指导意义和实际应用价值。未来的进一步研究工作,一是选择一种现行网络验证优化概率模型的实际有效性,二是研究如何实现基于知识的优化模型和基于数据的优化模型在同一个自我优化系统的有机结合。

参考文献:

[1] Jamalipour A, Wada T, Yamazato T. A tutorial on multiple access technologies for beyond 3G mobile networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(2): 110 – 117.

[2] Barco R, Wille V, Díez V. System for automated diagnosis in cellular networks based on performance indicators[J]. European Transactions on Telecommunications, 2005, 16(5): 399 – 409.

[3] Wietgreffe H. Investigation and practical assessment of alarm

correlation methods for the use in GSM access networks [C]//Proceedings of the IEEE/IFIP network operations and management symposium. Florence, Italy: IEEE, 2002: 391 – 403.

[4] Laiho J, Raivio K, Lehtimäki P, et al. Advanced analysis methods for 3G cellular networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2005, 4(3): 930 – 942.

[5] Lehtimäki P, Raivio K. A knowledge – based model for analyzing GSM network performance[C]//Proceedings of the International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems. Bari, Italy: IEEE, 2005: 204 – 215.

[6] Rish I. An Empirical Study of the Naive Bayes Classifier [R]//IJCAI – 01 Workshop on Empirical Methods in Artificial Intelligence Technical Reports. [S.l.]: IJCAI – 01 Workshop: 2001: 41 – 46.

[7] Renooij S, Witteman C. Talking probabilities: Communicating probabilistic information with words and numbers[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1999, 22(3): 169 – 194.

[8] Barco Raquel, Lúzaró Pedro, Wille Volker, et al. Knowledge acquisition for diagnosis model in wireless networks[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 4745 – 4752.

作者简介:

于友成(1963 –),男,山东威海人,硕士,高级工程师,主要研究方向为现代通信网。

YU You – cheng was born in Weihai, Shandong Province, in 1963. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns modern communication networks.

Email: yuyoucheng@sina.com

热烈祝贺《电讯技术》被评为工业和信息化部 2009 ~ 2010 年度“优秀科技期刊”

在工业和信息化部 2009 ~ 2010 年度科技期刊评比活动中,《电讯技术》被评为“优秀科技期刊”。这是继《电讯技术》获得工业和信息化部 2007 – 2008 年度“学术技术水平优秀奖”后获得的又一部级奖项,也是对主办单位和编辑部近两年在科技期刊编辑出版工作做出的优异成绩的充分肯定。

《电讯技术》能在评比中获奖,离不开广大作者和读者的厚爱,离不开编委会的正确指导,更离不开各级领导的大力关心与支持,在此表示衷心的感谢。编辑部将继续坚持办刊方针和办刊宗旨,再接再厉,与时俱进,不断提升办刊水平和办刊质量,以“精品科技期刊”为目标,更好地发挥《电讯技术》在社会发展和科技创新中的重要作用,为促进我国电子科技事业的腾飞做出应有的贡献。