

基于标号随机 Petri 网 的 GSM 性能分析

沙 静 杜玉越

(山东科技大学信息科学与工程学院计算机科学与技术系 青岛 266590)

摘 要 GSM 移动通讯网络系统是目前国内覆盖最广、可靠性最高、容量最大、保密性强的公共无线数字传输系统。GSM 通信分系统在车载单元与监控中心之间进行数据传输,其性能优劣对车载定位系统起着十分重要的作用。结合实时 UML 状态机的直观、平台无关性特点和 LSPN 的理论分析能力,研究了 GSM 通信模块的工作模式,结合实例初步探索了该方法在移动通讯网络性能分析中的适用性。

关键词 GSM, LSPN, 稳态分析

中图分类号 TP302.7 **文献标识码** A

Performance Analysis of GSM Based on Labeled Stochastic Petri Net

SHA Jing DU Yu-yue

(Department of Computer Science and Technology, College of Information Science and Engineering,
Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract GSM mobile communication network system is currently a public wireless digital transmission system which has most extensive coverage, the highest reliability, maximum capacity, and strong confidentiality. GSM communication system realizes data transmission in vehicle unit and the monitoring center. The performance of vehicle positioning system plays a very important role. LSPN is capable of making theoretical analysis. To study GSM communication module work mode and analyze the performance of mobile communication network, preliminary exploration with examples using real-time UML state machine and LSPN were presented.

Keywords GSM, LSPN, Steady-state analysis

1 研究现状

评估无线网络的目的在于通过分析网络运行数据并给出合理的评估,包括网络规划质量、网络运行状况、网络运行存在的问题和隐患、网络投资利用率等,来充分掌握网络的整体运行状况,为网络优化和建设提供直接参考。以往对通信模块性能的研究主要有两类方法:

(1) 实际测量。文献[1]介绍了4种较为普遍的用于无线网络测试的仪器:TEMS无线网络测试系统、频谱分析仪、Umstar无线网络地理化测试系统和CTR(Cell Traffic Recording);文献[2]在测量的基础上,提出了基于多个测量指标的多指标综合评价方法,并将其应用到路径性能评价和网络性能评价上,该值反映了路径和网络的综合性能状况,并可以按照不同的策略分析路径和网络之间的性能变化情况;文献[3]就900/1800MHz GSM手机在正常测试环境下性能测试的主要技术指标做了简单阐述。

(2) 网络仿真技术。网络仿真技术是一种通过建立网络设备和网络链路的统计模型并模拟网络流量传输,从而获取网络设计或优化所需要的网络性能数据的仿真技术。由于仿真不是基于数学计算,而是基于统计模型,因此统计复用的随

机性被精确地再现。应用比较广泛的两款主流网络仿真软件是Opnet和NS2。文献[4]阐述了应用网络仿真技术进行网络性能评价和预测的方法,包括性能指标选取、仿真试验设计、仿真性能参数计算、仿真结果处理与分析方法,并给出了对一个具体的多媒体网络进行性能评价的应用实例。文献[5]在对GSM/GPRS网络中的信道分配、分组数据调度、功率控制、越区切换和链路自适应等机制进行系统仿真的基础上,对一些反映网络性能的主要指标,如阻塞率、掉话率、信道利用率和数据平均传输速率等做出了一定的估计。对不同网络参数和算法对网络性能的影响规律也进行了分析,从而为今后网络的优化提供了一定的策略和依据。文献[6]给出了UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network,陆地无线接入网)质量评价体系建立的原则与方法,分析了GSM、GPRS无线网络评价体系,提出了UTRAN的KPI(Key Performance Indicator,关键性能指标)的分类方法,给出了WCDMA标准的UTRAN的质量评价体系。

总之,以上两种方法在实际测量所得值的基础上,估计一些反映网络性能的主要指标,探索网络优化的方案。本文同以往方法有所不同,主要是利用随机Petri网^[7]的建模及分析能力,首先为GSM模块的通信方式建立一个局部的Petri网

模型,在此基础上带入实际的测量值,通过 TimeNet^[8]工具对模型进行分析和模拟,并提出改进的建议。

2 随机 Petri 网

定义 1 随机 Petri 网^[7]是一个六元组, $SPN=(S, T; F, W, M_0, \lambda)$, 其中

- (1) $(S, T; F, W, M_0)$ 是一个 P/T 系统;
- (2) $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ 是变迁平均实施速率集合。

SPN 的变迁和触发时间相关联。在本文中,将 SPN 中有关变迁的定义扩充为瞬时变迁、确定时间变迁和指数时间变迁。如果一个变迁不属于这 3 种,则称其为普通变迁。

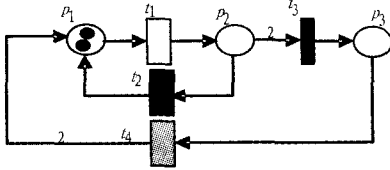


图 1 SPN 实例

图 1 展示了一个 SPN 的例子,描述了由两个成员组成的冗余系统。每个成员可能失败(t_1)或被维修(t_2)。如果两个成员都失败,则 t_3 立即被激发,随即对系统进行彻底维修(t_4)。瞬时变迁由黑色窄长方形表示(t_3),黑色宽长方形代表确定时间变迁(t_2),内空的宽长方形表示的是指数时间变迁(t_1),宽的灰色长方形表示普通变迁(t_4)。

本节将定义 1 加以扩充,得到标号 SPN 的定义。

定义 2 一个标号 SPN 系统是一个三元组 $LSPN=(S, \psi, \varphi)$, 其中

- (1) S 是一个 SPN;
- (2) $\psi: P \rightarrow L^P$ 是库所的标号函数;
- (3) $\varphi: T \rightarrow L^T$ 是变迁的标号函数。

L^P 和 L^T 是标号集。

通过标号集,在 LSPN 上定义一个算子,将 LSPN 模块进行组合。

定义 3 给定两个 LSPN 系统 $LN_1=(S_1, \psi_1, \varphi_1)$ 和 $LN_2=(S_2, \psi_2, \varphi_2)$, 则有

$$LN = LN_1 \parallel_{L_T, L_P} LN_2$$

即通过标号集将 LN_1 和 LN_2 进行组合后得到的 LSPN 系统。有关标号随机 Petri 网的定义可在文献[9]中找到。本文中的定义在变迁的时间限制、标号函数的定义上都有所不同。

3 实例研究

GSM 移动通讯网络系统是目前国内覆盖最广、可靠性最高、容量最大、保密性强的公共无线数字传输系统。车辆安全监控管理系统利用 GSM 作为自己系统的无线数据传输平台,将确保数据传输通道的可靠性和报警信号的真实性的。车载机的数据信息通过 GSM 网络传送到车辆监控调度中心,中心可以通过 GSM 发出指令,调度和控制车辆。

在车载 GPS 终端系统中,GSM 模块负责将中央控制模块传递来的车辆数据信息发送给监控中心,同时将接收到的由监控中心发送来的命令转送给中央控制模块。本文结合实时 UML 状态机的直观、平台无关性特点和 LSPN 的分析能力给出性能分析结果。

3.1 状态图

GSM 通信模块共分为正常、传输错误、完全掉线、重建连接、挂起、无法连接以及确认掉线等 7 个大的状态。通常情况下,通信模块处于正常工作状态,这时有可能出现 3 种失败情形:传输错误、挂起以及掉线。信号不好的时候,传输错误经常会出现。当车辆通过两个相邻基站覆盖区域的临界时,通信被挂起,系统会自动和下一个基站建立连接,但需要花费一定的时间。如果信号持续一段时间出现问题,则系统会完全掉线。系统硬件在一段时间后会尝试重建连接,直到成功为止。图 2 是建立 GSM 通信模块的实时状态机图(略去时间注释,后文会给出相关说明)。

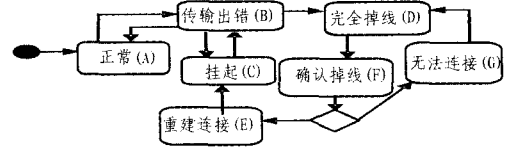


图 2 GSM 通信模块的 UML 实时状态机图

3.2 LSPN 模型

为 GSM 通信模块建立起直观的 UML 状态图后,接下来根据 3.1 节所描述的 3 种传输失败情形建立 LSPN 模型,并进行定量分析。UML 实时状态机图转化成 LSPN 的具体转换方法如图 3 所示。首先将 UML 实时状态机分解成基本的单元,如基本状态、伪态和转换,接下来将这些基本单元翻译成 LSPN 模型,最后将所有的单元组合起来,就得到整个系统的 LSPN 模型。作者在文献[10]中已给出详细论述,本文不再阐述。

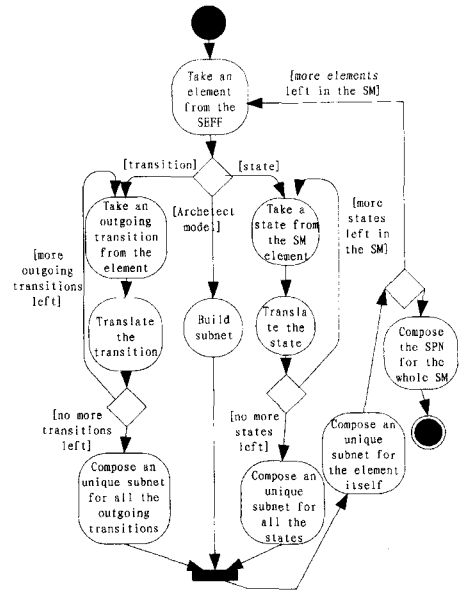


图 3 转换方法的活动图

对实际系统进行监测和估计,建立相应的 LSPN 模型,如图 4 所示。该图展示了通信模块所有状态及状态的转换。模型的初始状态是 Initial,当瞬时变迁 t_I_A 发生后,库所 A 中有一个托肯,系统处于正常通信状态。变迁 t_A_B 表示发生传输错误,由传输错误的随机性得到它具有指数分布的时间延迟。根据相关资料^[11]的要求,此变迁的时延值在 95% 的情况下大于等于 7s。通过指数分布的密度和分布函数

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

可以计算出参量所需的值。

$$F(7)=1-e^{-7\lambda}=0.05 \Rightarrow 1/\lambda=136.47s$$

状态 B 代表处理错误传输。变迁 t_{B_A} 模拟了传输问题被解决,它的时延需要在 95% 的情况下小于 1s,同样可以计算 λ 的值。

$$F(1)=1-e^{-\lambda}=0.95 \Rightarrow \frac{1}{\lambda}=0.3338s$$

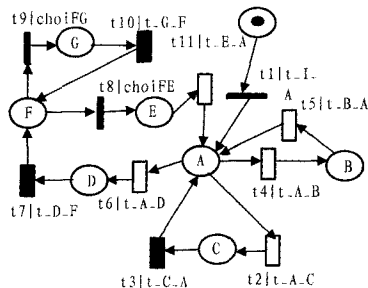


图 4 LSPN 模型

穿过邻界,重新与一个新基站建立连接,由变迁 t_{A_C} 和 t_{C_A} 分别表示。状态 C 表示通信被挂起。经检测,在两个挂起之间平均最坏时间是 50.4s,因此可以估计 t_{A_C} 是参数为 0.0198 的指数分布。根据实际要求,通信重新建立所需的最多时延为 0.3s。

完全丢失连接在实际应用中是基本不会发生的,定义为参数是 1/3600000 的指数分布时间变迁,则指数时间变迁 t_{A_D} 的参数可以相应得到设定。状态 D 表示系统进入检测过程,这时连接的丢失需要花费一定时间进行检测,规定不能超过 1s。这样,确定时间变迁 t_{D_F} 便可设定为 1s。

在确认完全掉线(进入状态 F)后,通信系统会立即尝试连接(重建连接由变迁 choiFE 表示),一次不成功后会 5s 后继续尝试重新连接。以上行为可由瞬时变迁 choiFG 以及确定时间变迁 t_{G_F} 来表示。 t_{G_F} 的时延为 5s。连接成功所需时间是随机的,但需要在 95% 的情况下小于 5s,可算出 t_{E_A} 的参数是 0.6。

得到的时间变迁参数如下。

指数时间变迁:

$$\lambda_2=0.0198, \lambda_4=0.0073, \lambda_5=0.0513, \lambda_6=2.7778 \times 10^{-7}, \lambda_{11}=0.6$$

确定时间变迁:

$$d_3=0.3, d_7=1.0, d_{10}=5$$

在完全掉线后,通信系统会立即尝试连接,在 5s 后会继续尝试重新连接。以上行为可由瞬时变迁 f_{es}, su_{es} , 以及确定时间变迁 f 来表示, f 的时延为 5s。连接成功所需时间是随机的,但需要在 95% 的情况下小于 5s,可算出 con 的参数是 0.6。

通过观察可以发现,在每个标识下最多只有一个非指数变迁可被使发,因此该模型可以用 DSPN 标准算法^[12]来进行数字分析。

3.3 稳态分析

稳态分析在遍历系统的可达图基础上,直接、精确地利用数字表达式来表示系统的性能评价。在一个可靠模型的前提下,这种方法分析了模型在零时间从初始标识到一个给定结束时间的行为特征。通过展示行为特征就可以回答诸如此类的问题:系统在运行一个星期以后还能继续正常工作的可能

性有多大? 或者一个生产系统在重新安装后一个小时内又生产了多少部件? 在初始的瞬时效应都消失后,就得到一个处于相对比较规范的运作状态的模型,该模型的关联矩阵为:

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

解 $CY=0$, 求得 $Y_1=[1,1,1,1,1,1,1,1]^T$ 为模型的唯一 S-不变量,所以该模型有唯一的 S-不变量支集,包括所有位置在初始标识中仅有一个标记,因此不能有多于 1 个的确定时间变迁可实施。这就使该网模型满足 LSPN 分析求解的条件^[12]。

首先,计算得到 LSPN 模型的实存状态信息,其中 1 与 0 分别代表对应库所中有无托肯。库所按照 A-G 顺序排列,如下所示:

$$M_0=(0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$M_1=(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$M_2=(0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$M_3=(0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$M_4=(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)$$

$$M_5=(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)$$

实存状态转换信息: $0 \rightarrow 3 \ t_2, 0 \rightarrow 2 \ t_4, 0 \rightarrow 1 \ t_6, 1 \rightarrow 5 \ t_7, 1 \rightarrow 4 \ t_7, 2 \rightarrow 0 \ t_5, 3 \rightarrow 0 \ t_3, 4 \rightarrow 5 \ t_{10}, 4 \rightarrow 4 \ t_{10}, 5 \rightarrow 0 \ t_{11}$ 。每一组数用来表示某个时间变迁的实施引发实存状态之间(箭头两侧的数字代表实存状态的序号)的转换。

根据以上信息建立模型的可达图,如图 5 所示。

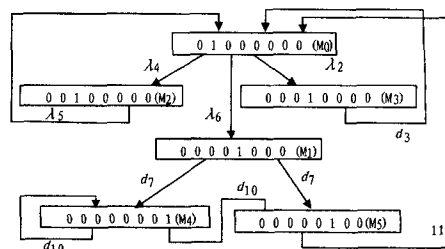


图 5 模型可达图

由图 5 可知,所有库所中最多只有一个托肯,且托肯数既不增加也不减少,所以模型是安全的、有界的、守恒的。可达图中库所 F 在任何可达标识中都无法标识,也就反映了系统在稳态下几乎不会发生完全掉线的情形。

接下来建立状态转移概率矩阵如下:

$$P = \begin{bmatrix} -(\lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_6) & \lambda_6 & \lambda_4 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_7 & d_7 \\ \lambda_5 & 0 & -\lambda_5 & 0 & 0 & 0 \\ d_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{10} & d_{10} \\ \lambda_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{11} \end{bmatrix}$$

调整的目标,据此进行大量概念验证实验和实兵检验,以促进我军组织结构调整。寻求到下一“稳态”的最小耗费的调整路线,并给出调整路线图。

结束语 本文将多 Agent 建模方法和超网络建模方法结合,为信息化条件下模拟仿真提供了新的思路和途径,对信息化我军进行体系作战条件下的指挥控制实验研究具有重要的理论意义和应用价值。

参 考 文 献

[1] Cares,Jeffrey R. Raymond Christian and Rober Manke, Fundamentals of Distributed, networked Forces and the Engineering of Distributed Systems[M]. USA; NUWC-NPT Technical Report 11,2002

[2] Dekker A H. Network Topology and Military Performance[C]// International Congress on Modelling and Simulation, Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand(MODSIM 2005). 2005;2174-2180

[3] Shi F L,Lei Y L,Zhu Y F. A military communication super network structure model for net centric environment[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computational and Information Sciences(ICCIS2010) . Wuhan,2010;33-36

[4] Yang A, Hussein H A,Sarker R. Wisdom-II: A Network Centric Model for Warfare[C]//KES2005. Berlin; Springer, 2005;3683-3688

[5] 张国宁,沈寿林,朱江,等. 联合战斗的复杂网络多 Agent 建模仿真研究[J]. 计算机仿真,2010,6:212-216

[6] 詹姆斯. 复杂理论与网络中心战[M]. 郁军,译. 北京:军事科学出版社,2006;1-25

[7] 沈寿林,朱江,等. 作战复杂系统实验关键技术及应用[R]. 南京:军队科技进步一等奖,2011

[8] Milo R, Shen-Orr S, Itzkovitz S, et al. Network motifs: simple building blocks of complex networks [J]. Science, 2002, 298: 824-827

[9] 王志平,王众托. 超网络理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2008;10-20

(上接第 31 页)

由

$$\begin{cases} \Pi P = \Pi \\ \sum_{i=1}^r \pi_i = 1 \end{cases}$$

式中, r 为可达状态的个数, π_i 是第*i*个可达状态的稳态概率,计算出稳态概率矩阵为:

$\Pi=(0.991672,4.89436e-009,0.00242559,0.00590281,2.74693e-008,1.72739e-008)$

即 $P(M_0)=0.991672, P(M_1)=4.89436e-009, P(M_2)=0.00242559, P(M_3)=0.00590281, P(M_4)=2.74693e-008, P(M_5)=1.72739e-008$ 。

也即我们要考察的系统处于正常状态、传输出错状态及挂起状态的概率如表 1、表 2 所列。

表 1 性能分析结果 1

实态	稳态概率
M ₀	0.99167
M ₂	2.4256 * 10 ⁻³
M ₃	5.9028 * 10 ⁻³

表 2 性能分析结果 2

实态	稳态概率
M ₀	0.996589
M ₂	1.97538 * 10 ⁻³
M ₃	2.43517 * 10 ⁻³

经对比,该结果远远达不到理论要求的 99.5%。通过观察不难发现系统处于挂起(C)状态的概率比较大。也就是说,由于无线信号覆盖不足,造成移动台无法登录网络,从而不能接收寻呼消息。为了避免挂起对通信的影响,主要依靠工程增加基站或直放站解决。增加了基站数目后,通信重新建立所需最多时延减少到 200ms。经稳态分析,得到系统处于挂起状态的概率大大减小,而状态 A 的概率为 99.6589%,达到了实际要求。因此增加基站数目的方法是可行的,今后我们会进行更多的优化实验研究。

结束语 本文对基于 UML 实时状态机的定量分析给出了初步的转化方法,建立了实时状态机中基本组成元素所对应的标号随机 Petri 网模型。状态机中各类活动在时间上的限制也被考虑在建模的元素中,这种间接的分析方法将实时

UML 状态机图的直观易懂和随机 Petri 网成熟的性能分析能力有机地结合在一起,对进一步的定量分析具有重要的意义。今后作者会继续探究如何用本文算法实现实际系统的性能分析。

参 考 文 献

[1] 李日新. GSM 网络测试仪器及其测试方法[J]. 电子质量,2004(12):6-7

[2] 张冬艳,胡铭曾,张宏莉. 基于测量的网络性能评价方法研究[J]. 通信学报,2006,27(10):74-85

[3] 陈南阳. 简述 GSM 移动通信系统与移动电话性能测试[J]. 移动通信,2004(S2):73-75

[4] 雷擎,王行刚. 应用网络仿真技术进行网络性能评价[J]. 计算机应用,2001,21(12):11-14

[5] 徐海东,李治文,江峰,等. 3G 无线网络性能评价 KPI 体系研究[J]. 电信科学,2008(4):16-19

[6] 许建华,朱小刚,戎蒙恬,等. 运用系统仿真方法对 GSM/GPRS 网络性能的分析[J]. 通信技术,2001(8):50-52

[7] 林闯. 随机 Petri 网及系统性能评价 [M]. 北京:清华大学出版社,2005

[8] Zimmermann A,Freiheit J,German R, et al. Petri net modelling and performability evaluation with TimeNET 3. 0[C]// LNCS 1786. 2009;188-202

[9] Bernardi S, Donatelli S, Merseguer J. From UML sequence diagrams and statecharts to analysable Petri net models[C]//Proceedings of the Third International Workshop on Software and Performance (WOSP2002). Rome, Italy, ACM, July 2008;35-45

[10] 沙静,蒋昌俊. 基于 UML 实时状态图的定量分析[J]. 系统仿真学报,2008,20(8):1957-1960

[11] 3rd Generation Partnership Project, GSM 04. 08 v6. 13. 0[S]. Mobile Radio Interface Signaling Layer 3 Specification

[12] Ciardo G, Lindemann C. Analysis of deterministic and stochastic Petri nets[J]. Performance Evaluation, 1993,8(8):160-169