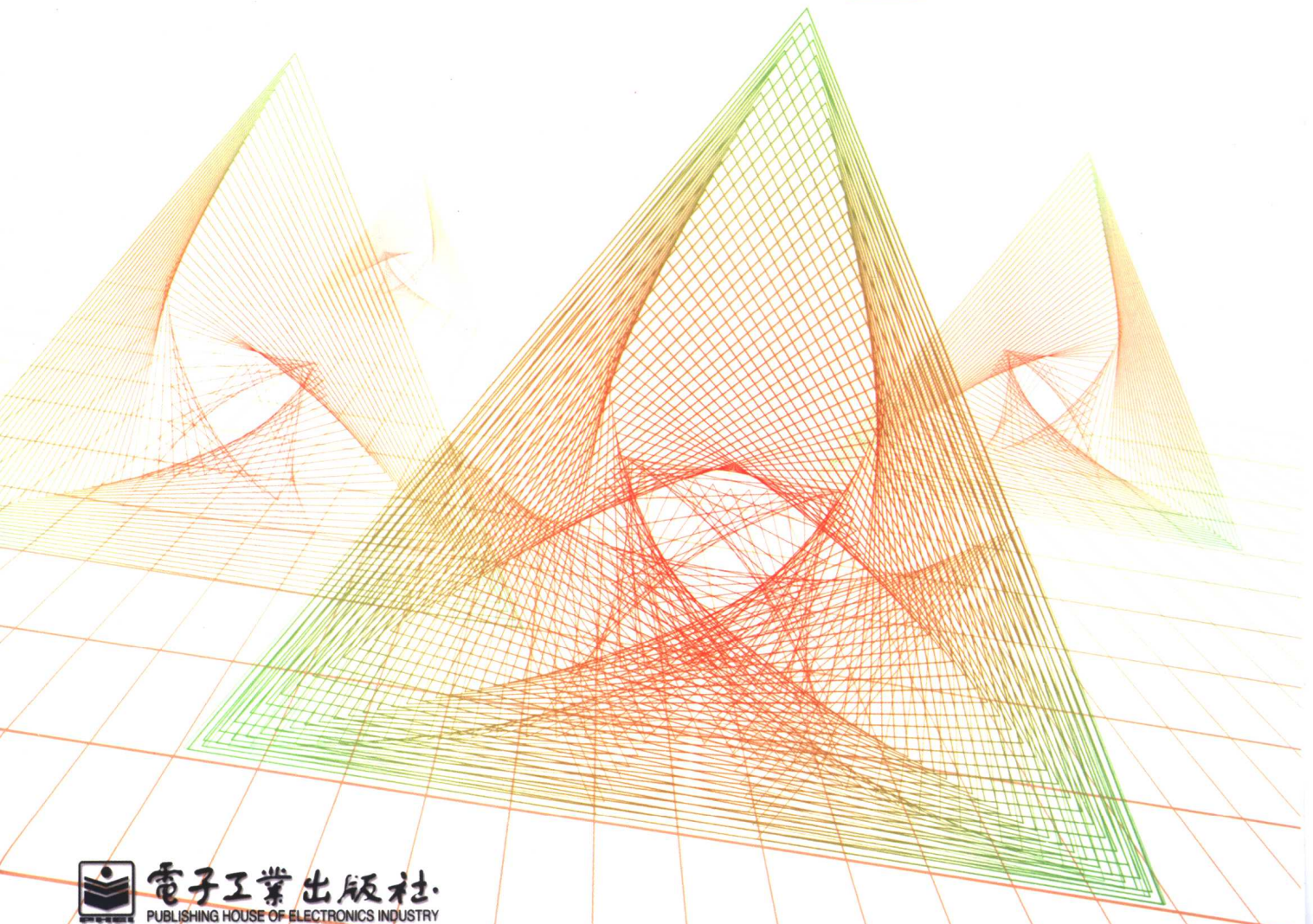
http://www.phei.com.cn

计算机研究新进展

河南省计算机学会 组编



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

计算机研究新进展

河南省计算机学会2006年学术年会论文集

计算机研究新进展

河南省计算机学会　组编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

图书在版编目（CIP）数据

计算机研究新进展 / 河南省计算机学会组编. —北京：电子工业出版社，2006.12

ISBN 7-121-03569-3

Ⅰ. 计… Ⅱ. 河… Ⅲ. 电子计算机—文集 Ⅳ. TP3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 143369 号

责任编辑：张 旭
印 刷：北京季蜂印刷有限公司
装 订：北京季蜂印刷有限公司
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036
开 本：850×1 168 1/16 印张：20 字数：660 千字
印 次：2006 年 12 月第 1 次印刷
定 价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系电话：（010）68279077；邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热：（010）88258888。

序

忆往昔峥嵘岁月稠。河南省计算机学会自 1987 年 5 月成立以来，已走过了 19 年的历程。19 年来发展道路坎坷不平，但学会团结全体会员和广大的计算机科技工作者，为使计算机科学技术在我省的经济建设、科技发展以及各项事业的发展中发挥更大的作用做出了应有的贡献。

长江后浪推前浪，奔腾到海不停息。河南省计算机学会 2005 年进行了换届选举，成立了第四届理事会。第四届理事会成员朝气蓬勃，勇于开拓创新，上任以来，积极树立经营学会的理念，为构筑“三主一家”（即学会要作为河南省计算机学术交流的主渠道，科学普及的主战场，国内外民间学术交流的主要代表，成为会员之家）做了大量的工作。本次学术年会是河南省计算机学会第四届理事会组织的第一次全省计算机科学与技术的学术会议，为广大会员进行学术交流搭建了一个宽广的平台。我衷心祝贺会议的胜利召开，特别是对本次会议学术论文集的出版感到由衷的高兴。在这里要特别感谢电子工业出版社对我们河南省计算机学会的大力支持和鼎力相助！

计算机科学技术的迅猛发展，已充分显示了其在社会发展与人类进步中的巨大作用，实现全面信息化已成为当今世界经济与社会发展的必然趋势。为更好地促进计算机科学领域的学术交流，学会将为广大会员和计算机科技工作者提供更多更好的服务，使学会成为会员之家。

令人欣喜的是本次会议选录出版的学术论文涉及的领域之广、选题之新、水平之高都是前所未有的。这些不仅反映了是作者在自己从事的领域刻苦钻研，用汗水浇灌的结果，而且也充分表明我省广大计算机科技工作者近年来在计算机科学技术的开发、工程和应用等方面都做出了很大的成绩，硕果累累，值得称赞。

雄关漫道真如铁，而今迈步从头越。让我们携起手来，为缩小与先进省市计算机科学技术水平的差距而努力！为使计算机科学技术在我省的经济建设和各项事业的发展中做出更大的贡献而努力。

祝本次年会圆满成功！

河南省计算机学会名誉理事长　苏锦祥

2006 年 11 月 16 日

前　言

河南省计算机学会第四届理事会自2005年7月成立以来，以全新的姿态朝气蓬勃地开展着各项工作，努力贯彻学会的办会宗旨，团结和组织河南省计算机科技工作者以经济建设为中心，坚持科学技术是第一生产力的思想，实施科教兴豫和可持续发展战略，促进计算机科技的繁荣和发展，促进计算机科技的普及和推广，促进计算机科技人才的成长和提高，致力于“三主一家”的建设，积极打造学术交流的平台，为广大计算机科技工作者服务。

2006年8月19日，在河南省计算机学会常务理事工作会议上，通过了年底前召开2006学术年会的决定。自此学会紧锣密鼓地开始了会议征文等筹备工作。截至11月5日，会务组共收到论文80余篇。经组织专家评审后选定了64篇，收录到本论文集中。此次收录的论文，大多是来自于高校的教师，也有不少是在校研究生所写。论文涉及面广，立意新颖，有较强的学术交流性。

河南省计算机学会2006学术年会是河南省计算机学会第四届理事会成立以来的第一次学术会议，也是几年来河南省计算机领域难得的一次盛会，是老友新朋齐相聚、相互交流谋发展的促进会，是一次推进新技术发展的展示会，是河南省计算机科学技术水平的检阅会，是促进会员之间友好交流的联谊会。学会真诚地欢迎广大计算机科技工作者及各高校、企事业的领导积极参加，进行学术交流，为推进河南省计算机技术的发展共同努力。学会网址：http://www.hnpcs.com。

本论文集能够正式出版，我们要感谢为论文审稿、修改的专家学者们，同时也由衷地感谢电子工业出版社的友好支持和大力帮助。

河南省计算机学会

2006年11月16日

目　录

研　究　型

设 计 型

综 述 型

Andrew RPC 协议的两种形式化方法的比较

赵　琳，赵东明，周清雷

（郑州大学信息工程学院，河南 郑州 450052）

摘　要：本文主要介绍了 BAN 逻辑和串空间模型这两种有效的分析认证协议的形式化方法，并且以 Andrew secure RPC 协议为例，说明了两种方法的不同特点。

关键词：BAN 逻辑；串空间模型；Andrew secure RPC 协议

A Comparison Between Two Formal Analysis Methods on Andrew Secure RPC Protocol

Zhao Lin, Zhao Dongming, Zhou Qinglei

Abstract: BAN logic and strand spaces model are two popular approaches to formal analysis for authentication protocols.In this paper, the different characteristics of the above approaches are outlined through Andrew secure RPC protocol.

Keywords: BAN logic; Strand Spaces; Andrew secure RPC protocol

1　引言

形式化方法就是用数学与逻辑的方法对系统进行描述和验证。形式化方法在协议的验证和设计方面有着广泛的应用。它采用一种正规的、标准的方法对协议进行分析，以检查协议是否满足其安全目标，形式化方法基于严格的数学基础，具有精确的语法和语义，能够检测到安全协议中的细微的漏洞。因而现在大量的研究工作集中在了形式化的方法上[1]。

BAN 逻辑[2]和串空间模型[3]，是两种有效地分析认证协议的形式化方法。其中，串空间模型是近几年兴起的一种新型方法，它具有 BAN 逻辑所不具备的优势。

2　BAN 逻辑

2.1　BAN 逻辑简介

1989 年，Burrows，Abadi 和 Needham 率先以逻辑形式方法提出了对 Kerberos 等几个著名的协议进行了分析，找出了其中已知和未知的漏洞。BAN 逻辑[2]的成功极大地激发了密码研究者对安全协议形式化分析的兴趣。但它仍然存在着很大缺陷。BAN 逻辑只能分析协议的认证性质，而不能分析协议的保密性质，然而在现实中，通常的密钥分配协议需要同时实现保密性和认证性两个重要目标。

其基本理论见参考文献 2。

2.2　实例

Andrew secure RPC 协议的初始协议：

（1）$A \rightarrow B : A, \{N_a\}_{k_{ab}}$；（2）$B \rightarrow A : \{N_a + 1, N_b\}_{k_{ab}}$；（3）$A \rightarrow B : \{N_b + 1\}_{k_{ab}}$；（4）$B \rightarrow A : \{k'_{ab}, N'_b\}_{k_{ab}}$。

其中，N_a 和 N_b 是一次随机数；N'_b 是在随后的通信中使用的初始序列号；第（1）条消息 A 传送一个一次随机数和它的标识符，在第（2）条消息中 B 又将其送回。如果 A 认为收到的消息正确，那么它又回送 B 一个一次随机数。在 B 收到并检验第（3）条消息后，它发送一个新的会话密钥给 A，随机数被送回时都要加 1[4]。

这个初始协议是不安全的。从协议的第（4）条消息可以看出，第（4）条消息是 B 发给 A 的，但是 A 收到以后，无法确认这条消息是新鲜的。第（4）条消息中不含有表明新鲜性的任何信息。也就是说，攻击者可以用以前的旧消息回放给 A，然后冒充 B 和 A 通信。

改进后的协议：

（1）$A \to B: A, N_a$；（2）$B \to A: \{N_a, k_{ab}^{'}\}_{k_{ab}}$；（3）$A \to B: \{N_a\}_{k_{ab}^{'}}$；（4）$B \to A: N_b^{'}$。

初始假设为：

（1）$A \mid\equiv A \xleftrightarrow{k_{ab}} B$；（2）$B \mid\equiv A \xleftrightarrow{k_{ab}} B$；（3）$A \mid\equiv (B \mid\sim A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B)$；（4）$B \mid\equiv A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B$；（5）$A \mid\equiv \#(N_a)$；（6）$B \mid\equiv \#(N_b)$；（7）$B \mid\equiv \#(N_b^{'})$。

对改进后的协议理想化如下：

（1）$B \to A: \{N_a, A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}_{k_{ab}}$；（2）$A \to B: \{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}_{k_{ab}^{'}}$。

证明目标为：

A believes $A \xleftrightarrow{k} B$ 即：$A \mid\equiv A \xleftrightarrow{k} B$

B believes $A \xleftrightarrow{k} B$ 即：$B \mid\equiv A \xleftrightarrow{k} B$

A believes B believes $A \xleftrightarrow{k} B$ 即：$A \mid\equiv B \mid\equiv A \xleftrightarrow{k} B$

B believes A believes $A \xleftrightarrow{k} B$ 即：$B \mid\equiv A \mid\equiv A \xleftrightarrow{k} B$

下面给出理想化协议的分析过程：

当 A 收到第（1）条消息时，根据消息意义规则可知：$\dfrac{A \mid\equiv A \xleftrightarrow{k_{ab}} B, A \triangleleft \{N_a, A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}_{k_{ab}}}{A \mid\equiv B \mid\sim \{N_a, A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} A\}}$

根据随机数验证规则：$\dfrac{A \mid\equiv \#(N_a)}{A \mid\equiv \#(N_a, A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B)}$

根据随机数验证规则：$\dfrac{A \mid\equiv \#(A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B), A \mid\equiv B \mid\sim (A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B)}{A \mid\equiv B \mid\equiv (A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B)}$

当 B 收到第（2）条消息时，根据消息意义规则：$\dfrac{B \mid\equiv (A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B), B \triangleleft \{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}_{k_{ab}^{'}}}{B \mid\equiv A \mid\sim \{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}}$

根据随机数验证规则：$\dfrac{B \mid\equiv \#\{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}, B \mid\equiv A \mid\sim \{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}}{B \mid\equiv A \mid\equiv \{A \xleftrightarrow{k_{ab}^{'}} B\}}$

由 BAN 逻辑证明可知，满足了协议的需求。

3 串空间模型

3.1 串空间模型简介

1998 年，Fabrega，Herzog 和 Guttman 建立了串空间模型（strand spaces）[3]，将安全协议的形式化分析技术推向一个新的高度。串空间模型是一种结合定理证明和协议迹的混合方法，它是一种新型有效的安全协议形式化分析方法。它可以有效地分析安全协议的机密性和认证性。

串空间模型认证协议的目标规约为认证性和机密性。当认证性和机密性都满足时，认证协议是正确的。

串空间模型的基本理论见参考文献 3。

3.2 Andrew secure RPC 协议的证明

3.2.1 一致性：响应者的保证

命题 3-1 假设下述条件成立：

（1）Σ 是一个 RPC 空间，C 是 Σ 中的一个丛，$s \in \mathrm{Re}sp[A, B, N_a, N_b, K_{ab}, K_{ab}^{'}]$，且 $C - hight(s) = 4$；

（2）$K_{ab}^{-1} \notin K_p$；

（3）$K_{ab} \neq K_{ab}^{'}$，且$K_{ab}^{'}$在Σ中是唯一起源的。

于是，C中包含一个发起者串$t \in Init[A,B,N_a,N_b,K_{ab},K_{ab}^{'}]$，且$C-hight(t)=3$。

证明：设节点$\langle s,2\rangle$的输出值$\{N_a,K_{ab}^{'}\}_{k_{ab}}$记为$n_0$，它的项为$v_0$。

引理 3-1　$K_{ab}^{'}$起源于n_0。

证明：由假设$K_{ab}^{'} \subset v_0$，且n_0的符号为正。因此，只需证明$K_{ab}^{'} \not\subset n^{'}$，其中$n^{'}$是与节点$n_0$在同一个串上的前驱节点$\langle s,1\rangle$。

引理 3-2　可以考虑以下集合$S=\{K_{ab}^{'} \subset term(n) \wedge v_0 \not\subset term(n)\}$有一个极小元$n_2$，节点$n_2$是正则节点且符号为正。

证明：因为该集合不为空，所以至少存在一个极小元。需要证明n_2不可能在一个攻击者串上。

① M型，其迹为$\langle +t\rangle$，其中$t \in T$，显然，不可能。

② F型，其迹为$\langle -t\rangle$，其中$t \in T$，同样不可能。

③ T型，其迹为$\langle -g,+g,+g\rangle$，若$K_{ab}^{'} \subset g$，则与n_2的极小性矛盾，所以不可能。

④ K型，其迹为$\langle +K\rangle$，其中$K \in K_p$，显然，不可能。

⑤ E型，其迹为$\langle -K,-h,+\{h\}_k\rangle$，则$K_{ab}^{'} \subset h$或者$K_{ab}^{'}=K$，但是$K \in K_p$，所以$K_{ab}^{'} \neq K$。若$K_{ab}^{'} \subset h$，则与$n_2$的极小性矛盾，所以不可能。

⑥ D型，其迹为$\langle -K^{-1},-\{h\}_k,+h\rangle$，若$K_{ab}^{'} \subset h$，则$K_{ab}^{'} \subset \{h\}_k$，那么与$n_2$的极小性矛盾，所以不可能。

⑦ C型，其迹为$\langle -g,-h,+gh\rangle$，与n_2的极小性矛盾，所以不可能。

⑧ S型，其迹为$\langle -gh,+g,+h\rangle$。则$term(n_2)=g$或者$term(n_2)=h$成立，证明类似。

若$term(n_2)=g$，则$K_{ab}^{'} \subset g$，$v_0 \not\subset g$，由n_2的极小性有$v_0 \subset gh$，并且$v_0 \neq gh$，因此$v_0 \subset h$。令$T=\{m \in C : m \prec n_2 \wedge gh \subset term(m)\}$，则$T$中每个元素都是攻击者节点，因为没有正则节点包含子项gh（其中h包含加密子项）。

因为$\langle p,1\rangle \in T$，所以T是非空集合。由串空间模型基本理论可知，T中包含一个极小元m。且m的符号为正。下面考察m可能出现在什么类型的攻击者串$p^{'}$上。

① M型，其迹为$\langle +t\rangle$，其中$t \in T$，不可能。

② F型，其迹为$\langle -t\rangle$，其中$t \in T$，不可能。

③ T型，其迹为$\langle -g,+g,+g\rangle$，不可能。

④ K型，其迹为$\langle +K\rangle$，其中$K \in K_p$，不可能。

⑤ E型，其迹为$\langle -K,-h,+\{h\}_k\rangle$，可推出$gh \subset term(\langle p^{'},2\rangle)$并且$\langle p^{'},2\rangle \prec m$，所以和$m$的极小性矛盾，因此不可能。

⑥ D型，其迹为$\langle -K^{-1},-\{h\}_k,+h\rangle$，可推出$gh \subset term(\langle p^{'},2\rangle)$并且$\langle p^{'},2\rangle \prec m$，所以和$m$的极小性矛盾，因此不可能。

⑦ C型，其迹为$\langle -g,-h,+gh\rangle$，可推出$gh=term(m)$，而$term(\langle p^{'},1\rangle)=term(n_2)$且$\langle p^{'},1\rangle \prec n_2$，所以和$n_2$的极小性矛盾，因此不可能。

⑧ S型，其迹为$\langle -gh,+g,+h\rangle$，可推出$gh \subset term(\langle p^{'},1\rangle)$并且$\langle p^{'},1\rangle \prec m$，所以和$m$的极小性矛盾，因此不可能。

引理 3-3　存在一个串t上的节点n_2的前驱节点n_1，且$term(n_1)=\{N_a,K_{ab}^{'}\}_{k_{ab}}$。

证明：由串空间模型基本理论可知，$K_{ab}^{'}$起源于n_0，且由它的假设条件可知，$K_{ab}^{'}$在Σ中是唯一起源的。因为$v_0 \subset term(n_0)$，且$v_0 \not\subset term(n_2)$。所以$n_0 \neq n_2$。因此，$K_{ab}^{'}$不起源于$n_2$。从而在串$t$上有一个$n_2$的前驱节点$n_1$，使得$K_{ab}^{'} \subset term(n_1)$。由$n_2$的极小性，有$v_0=\{N_a,K_{ab}^{'}\}_{k_{ab}} \subset term(n_1)$。但是，没有正则节点以一个加密项为其真子项，因此必有$\{N_a,K_{ab}^{'}\}_{k_{ab}}=term(n_1)$。

引理 3-4　包含 n_1 和 n_2 的正则串 t 是一个丛 C 中的发起者串。

证明：节点 n_2 是一个符号为正的正则节点，且它的前驱节点 n_1 具有形式 $\{x,k'\}_k$。如果它是一个响应者串，那么只能在此节点之后跟着一个符号为负的节点，所以 t 是一个发起者串。而且，n_1 和 n_2 分别是 t 上的第二个和第三个节点，所以 $C-hight(t)=3$。

命题 3-2　设 Σ 是一个 RPC 空间，且 K_{ab}' 在 Σ 中是唯一起源的。于是，对任意 A，B 和 K_{ab}'，最多只存在一个串 $t\in Init[A,B,N_a,N_b,K_{ab},K_{ab}']$。

证明：因为 K_{ab}' 在 Σ 中是唯一起源的，因此，存在唯一的发起者串。

3.2.2　K_{ab}' 的机密性

命题 3-3　假设下述条件成立：

（1）Σ 是一个 RPC 空间，C 是 Σ 中的一个丛，$s\in Resp[A,B,N_a,N_b,K_{ab},K_{ab}']$，且 $C-hight(s)=4$；

（2）$K_{ab}^{-1}\notin K_p$；

（3）$K_{ab}\neq K_{ab}'$，且 K_{ab}' 在 Σ 中是唯一起源的。

于是，对于任意满足 $K_{ab}'\subset term(m)$ 的节点，有 $\{N_a,K_{ab}'\}_{k_{ab}}\subset term(m)$ 成立，或者 $\{N_a\}_{k_{ab}'}\subset term(m)$ 成立。特别地，$K_{ab}'=term(m)$。

证明：将节点 $\langle s,2\rangle$ 记为 n_0，它的项 $\{N_a,K_{ab}'\}_{k_{ab}}$ 记为 v_0，将节点 $\langle s,3\rangle$ 记为 n_3，它的项 $\{N_a\}_{k_{ab}'}$ 记为 v_3。考虑以下集合 S 是个空集，如果 S 是一个非空集合，那么这个集合中至少存在一个极小元。

$$S=\{n\in C: K_{ab}'\subset term(n)\wedge v_0 \not\subset term(n)\wedge v_3\not\subset term(n)\}.$$

引理 3-5　S 的极小元不是正则节点。

证明：反设存在一个极小元 m 是正则节点，且 m 的符号为正。

① 假设 m 位于响应者串 s 上。

只有 $\langle s,2\rangle$，$\langle s,4\rangle$ 的符号为正，那么根据 S 集的定义可知，m 不可能位于发起者串 s 上。

② m 也不可能位于响应者串 $s'\neq s$ 上，否则有 $m=\langle s',2\rangle$ 或者 $m=\langle s',4\rangle$。

假设 $m=\langle s',2\rangle$，那么可推出 K_{ab}' 起源于 $\langle s',2\rangle$，和 K_{ab}' 唯一起源于 n_0 矛盾。

假设 $m=\langle s',4\rangle$，不可能。

③ 假设 m 位于一个发起者串 s' 上，则有 $m=\langle s',1\rangle$ 或者 $m=\langle s',3\rangle$。

假设 $m=\langle s',1\rangle$，不可能。

假设 $m=\langle s',3\rangle$，那么根据 S 集的定义可知，m 不可能位于发起者串 s' 上。

引理 3-6　S 的极小元不是攻击者节点。

证明：假设 S 的极小元 m 位于攻击者串上。此引理的证明和引理 3-2 非常相似。

3.2.3　一致性：发起者的保证

欲证明发起者的保证，先要来看 K_{ab} 的机密性。K_{ab} 的机密性是必然的，是所有证明的前提，如果 K_{ab} 泄露的话，那么这个协议当然是不安全的。再来看 N_a 的新鲜性。N_a 在 Σ 中是唯一起源的，因此 N_a 是“新鲜”的。由 K_{ab} 的机密性和 N_a 的新鲜性，协议可以就 K_{ab}' 达成一致。

但是，我们可以从第（1）、（4）条消息中看出，N_a，N_b' 的机密性是不满足的。根据串空间理论可知，攻击者可以通过 S 型串来获取和发送 N_a，通过 T 型串来获取和发送 N_b'。因此，虽然在理想状态下，改进后的 Andrew secure RPC 协议可以满足给客户机分发一个新的会话密钥 K_{ab}' 的要求，但它仍然存在着安全缺陷。

因此，系统存在着如下攻击：

$1.1A\rightarrow I(B):A,N_a$

$2.1U(B)\rightarrow A:B,N_a$

$2.2A\rightarrow I(B):\{N_a,K_{ab}'\}_{k_{ab}}$

$1.2I(B) \rightarrow A:\{N_a, K_{ab}^{'}\}_{k_{ab}}$

$1.3A \rightarrow I(B):\{N_a\}_{k_{ab}^{'}}$

$2.3I(B) \rightarrow A:\{N_a\}_{k_{ab}^{'}}$

$1.4I(B) \rightarrow A:N_i$

$2.4A \rightarrow I(B):N_b$

4 结论

在 BAN 逻辑中，首先初始假设难以确定，而假设对于分析结论的正确与否至关重要。其次，理想化过程因含糊度大而难以确定。理想化步骤虽然有通常的指导，但其自身却是非形式化的，即没有形式化的方法来探究理想化过程的有效性和正确性。此外，由于 BAN 逻辑不能对知识进行推理，因此，BAN 逻辑只能分析协议的认证性质，而不能分析协议的机密性[5]。

串空间模型是现有安全协议形式化方法中最为直观、简洁、严格和有效的方法。它的直观性表现在使用一种节点间存在因果关系的有向图来表示协议的运行。它的简洁性表现在对于小型协议完全可以使用手工的方法完成证明。它的严格性表现在它使用了节点之间的因果关系来确保证明的逻辑性和证明的正确性[1]。

以改进后的 Andrew secure RPC 协议为例，用 BAN 逻辑证明满足需求，但是用串空间证明则发现了缺陷。

参考文献

[1] 卿斯汉. 安全协议的设计和逻辑分析. 软件学报，2003, 14(7).

[2] Michael Burrows and Martin Abadi and Roger Needham. BAN concrete Andrew Secure RPC. Last modified November 14, 2002.

[3] F Thayer, JC Herzog, JD Guttman. Strand spaces: Why is a security protocol correct? //Proc of 1998 IEEE Symp on Security and Privacy. Oakland, CA: IEEE Computer Society Press, 1998.

[4] 白汉利，蔡红柳，郑广. 基于形式方法的 AndrewRPC 认证协议的分析与改进. 计算机工程与设计，2005, 26(7).

[5] 刘锋. 安全协议模型检验技术第三章. 国防科技大学.