



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110582626 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 06

(21) 申请号 201880028458.4

(22) 申请日 2018.05.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110582626 A

(43) 申请公布日 2019.12.17

(30) 优先权数据
1754001 2017.05.05 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.10.29

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2018/051085 2018.05.02

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/202991 FR 2018.11.08

(73) 专利权人 赛峰飞机发动机公司
地址 法国巴黎

(72) 发明人 杭-米·特朗

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270
专利代理师 孟媛 李雪

(51) Int.Cl.
F02C 9/00 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 104736819 A, 2015.06.24
CN 101236129 A, 2008.08.06
CN 101858826 A, 2010.10.13
US 2006009950 A1, 2006.01.12
JP 2003176726 A, 2003.06.27
US 2008319629 A1, 2008.12.25

审查员 刘京

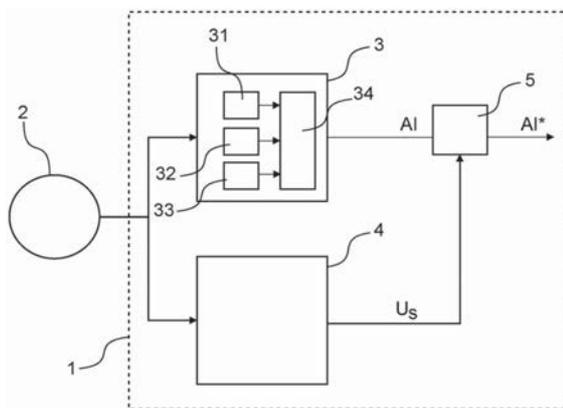
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

用由磨损因子校正的异常检测来监视涡轮机的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于对受监视的飞机发动机(2)的健康状态进行监视的系统(1)。该系统包括异常检测单元(3),该异常检测单元对发动机运行参数进行分析,并且如果发动机运行参数之一的分析结果超出阈值,则发出警报(A1),该警报与给定类型的发动机损坏的发生概率相关联。系统(1)还包括发动机运行条件监视单元(4)和警报确认单元(5),该发动机运行条件监视单元确定发动机的磨损状态,并且该警报确认单元通过所确定的磨损状态对所述发生概率进行加权。本发明在涡轮机的预防性维护中得到了应用。



1. 一种用于飞机发动机的健康状况监视系统,所述健康状况监视系统包括:
异常检测单元,所述异常检测单元被配置为对所述飞机发动机的运行参数进行分析,并且在所述飞机发动机的所述运行参数之一的分析结果超出阈值的情况下发出警报,所述警报与所述飞机发动机的给定退化类型的发生概率相关联;
发动机运行条件监测单元,所述发动机运行条件监测单元被配置为确定发动机磨损率;以及
警报确认单元,所述警报确认单元被配置为用确定的所述发动机磨损率对所述发生概率进行加权。
2. 根据权利要求1所述的健康状况监视系统,其中,所述异常检测单元被配置为在所述飞机发动机的所述运行参数之一的分析结果符合阈值超出确认规则的情况下发出警报。
3. 根据权利要求2所述的健康状况监视系统,其中,所述阈值超出确认规则对应于在所述飞机发动机的寿命期间的k个运行周期期间对阈值超出的检测,k为正整数。
4. 根据权利要求2所述的健康状况监视系统,其中,所述阈值超出确认规则对应于在所述飞机发动机的k个连续的运行周期期间对阈值超出的检测,k为正整数。
5. 根据权利要求2所述的健康状况监视系统,其中,所述阈值超出确认规则对应于在所述飞机发动机的n个连续运行周期中的k个运行周期上对阈值超出的检测,k和n为正整数,n大于k。
6. 根据权利要求1所述的健康状况监视系统,其中,所述发动机运行条件监测单元被配置为:确定所述飞机发动机自所述飞机发动机首次运行以来的年限,并由此推导出标称模式磨损率;确定所述飞机发动机自所述飞机发动机首次运行以来处于临界运行条件下所花费的时间,并由此推导出退化模式磨损率;以及通过将所述退化模式磨损率与所述标称模式磨损率相结合来推导出所述发动机磨损率。
7. 根据权利要求6所述的健康状况监视系统,其中,所述临界运行条件包括如下的至少一种运行:在标称温度范围之外的运行、在标称湿度范围之外的运行、在标称压力范围之外的运行以及与腐蚀性产品接触的运行。
8. 根据权利要求1所述的健康状况监视系统,其中,所述飞机发动机为涡轮机。
9. 一种用于对飞机发动机的健康状况进行监视的方法,所述方法包括:
检测异常的步骤,所述检测异常的步骤包括对所述飞机发动机的运行参数进行分析,以及在所述飞机发动机的所述运行参数之一的分析结果超出阈值的情况下发出警报,所述警报与所述飞机发动机的给定退化类型的发生概率相关联,
对所述飞机发动机的运行条件进行监视的步骤,在该步骤期间,发动机磨损率被确定,以及
警报确认步骤,在该步骤期间,用所确定的所述发动机磨损率对所述发生概率进行加权。
10. 一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括代码指令,当所述程序在计算机上运行时,所述代码指令用于执行根据权利要求9所述的方法的步骤。

用由磨损因子校正的异常检测来监视涡轮机的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明的领域是用于诸如飞机涡轮机的机器的健康状况监视系统。更具体地,本发明涉及用于对飞机发动机进行维护操作的自动化决策辅助系统。

背景技术

[0002] 机器的健康状况监视旨在提高机器的安全性和可靠性。特别是对于飞机发动机,此观察旨在避免或限制飞行中的停机(in-flight shutdown,IFSD)、减少飞行的延误和取消(delays and cancellations,D&C),以及更具体地是通过预测故障并识别出有问题的或有故障的部件来预防性地促进发动机维护。

[0003] 为了监视飞机发动机的健康状况,使用了不同的监视设备或异常检测设备来检查发动机的不同部件是否正常运行。例如,有用于对点火过程的行为进行分析的观察设备、用于对气体温度进行分析的另一设备、用于检测过滤器堵塞的又一设备,以及用于对油耗和燃料消耗进行分析的另一设备等。

[0004] 由这些检测设备和观察设备生成的数据通过飞行报告在地面上接收,并由维护系统借助于健康状况监视算法在地面上加以利用。这些算法在检测到异常(故障或更普遍的退化迹象)时会发出警报。这些警报然后由专门负责机队监视的专家在地面上利用,以根据所发出的警报检查发动机的运行能力。

[0005] 这些算法的主要原理是一种如下的方法:在发出警报之前,将观察到的变量(与发动机运行相关的原始物理数据)进行阈值处理,并结合阈值超出确认步骤(异常确认)。如果希望将未检测到发动机行为中真正异常的风险限制在最小程度,则该方法虽然简单,但却相当有效。

[0006] 常规上有三种阈值超出确认规则:

[0007] -第I类:设定了整数 k 。如果在整个信号上观测到有至少 k 个超出,则发出警报;

[0008] -第II类:设定了整数 k 。如果存在一组 k 个连续的测量点都超出阈值,则发出警报;

[0009] -第III类:设定了两个整数 k 和 n ,其中 k 小于 n 。如果存在一组 n 个连续的测量点,其中至少 k 个超出阈值,则发出警报。

[0010] 一旦警报发出,必须有专门负责机队监视的专家来检查发动机的运行能力。该专家可以对发动机多个运行参数的演变过程进行更精确的分析,以便确认故障迹象,从而避免发出虚假警报。如有疑问,可以请求研究局的专家。如果确认存在异常,专家将拟定一份称为客户通知报告(Customer Notification Report,CNR)的报告,在该报告中包含了所考虑的数据、所做的分析及其维护建议。如果专家确认未存在异常,则他/她将不会跟进警报。该警报因此被称为虚假警报。

[0011] 因此,在由于阈值超出确认而发出警报之后,并且在进行任何维护动作之前,可以由专家要求发动机运行机构下载尚未通过飞行报告接收到的发动机数据,以便能够检查发动机是否有退化迹象。取决于飞机的可用性,可能无法快速地进行这种下载。

[0012] 因此,在发出警报之后,其确认需要基于数据下载和专家分析进行手动操作程序。

这些操作程序具有处理时间和成本不可忽略的缺点。在检测到退化迹象的情况下,包括在最终仅是虚假警报的情况下,在任何情况下都需要专门负责机队监视的专家进行分析。

发明内容

[0013] 本发明的目的是使得能够更少地召唤专门负责机队监视的专家来跟进退化迹象的检测,从而使健康状况监视的成本降低,而可靠性不会降低。

[0014] 为此,本发明提供了一种用于受观察的飞机发动机的健康状况监视系统,包括异常检测单元,该异常检测单元被配置为对发动机的运行参数进行分析,并且在发动机的运行参数之一的分析结果超出阈值的情况下发出警报,该警报与发动机的给定退化类型的发生概率相关联。该系统包括发动机运行条件监视单元和警报确认单元,该发动机运行状况监视单元被配置为确定发动机磨损率,并且该警报确认单元被配置为用所确定的磨损率对所述发生概率进行加权。

[0015] 该系统的一些优选的而非限制性的方面如下:

[0016] -异常检测单元被配置为在发动机的运行参数之一的分析结果符合阈值超出确认规则(例如前述的第I类、第II类或第III类规则之一)的情况下发出警报;

[0017] -发动机运行条件监视单元被配置为:确定发动机自其首次运行以来的年限,并由此推导出标称模式磨损率;确定发动机自其首次运行以来处于临界运行条件下所花费的时间,并由此推导出退化模式磨损率;以及通过将退化模式磨损率与标称模式磨损率相结合来推导发动机磨损率;

[0018] -临界运行条件包括如下的至少一种运行:在标称温度范围之外的运行、在标称湿度范围之外的运行、在标称压力范围之外的运行以及与腐蚀性产品接触的运行。

附图说明

[0019] 在阅读以下通过非限制性示例给出并参照附图做出的对本发明的优选实施例的详细描述时,本发明的其他方面、目的、优点和特征将更好地显现。

[0020] -图1示意性地示出了根据本发明的可能实施例的用于飞机发动机的健康状况监视系统;

[0021] -图2和图3分别示出了飞机发动机在其寿命期间分别在标称模式和退化模式的磨损对其潜力的影响;

[0022] -图4示意性地示出了根据本发明的可能实施例的用于对飞机发动机进行维护的决策辅助方法。

具体实施方式

[0023] 本发明总体上提供了一种工具,该工具能够以自动化的方式提供对与飞机发动机的维护操作有关的决策制定有用的信息。

[0024] 在此范围内,本发明提供了一种用于飞机发动机的健康状况监视系统,该系统能够在不改变异常检测率(正确警报)的情况下减少虚假警报的数量。为此,系统被安置在发出警报的异常检测单元的下游。因此,避免了产生新的警报,并且不改变异常检测率。因此,该系统实现了对所发出的警报的校正,以在发动机磨损并因此可能退化时支持使用这些警

报,而在发动机磨损不多并且因此不太可能退化时不支持使用这些警报。

[0025] 参照图1,本发明更具体地涉及用于监测飞机发动机2的健康状况的系统1。系统1包括异常检测单元3,该异常检测单元被配置为对发动机2的运行参数进行分析,并且在发动机的运行参数的分析结果超出阈值的情况下发出警报A1。

[0026] 异常检测单元3包括各种异常检测模块31、32、33。这些模块接收与发动机的不同部件有关的运行参数,并且被配置为从这些参数确定指标并检测这些指标中的异常。这些指标因此被称为异常指标。

[0027] 由模块31、32、33产生的异常指标为计算结果、通常是算法输出,或者是统计测试的结果。这些异常指标例如为来自健康状况监视算法或合成的输出或测试分析的结果。

[0028] 通常,为了观察飞机机队的发动机,由机队管理员对每次飞行期间进行的测量进行分析。在本发明中,这些分析由异常检测模块31、32、33进行,这些异常检测模块在从飞行到飞行的发动机行为中实施例如破损检测算法。有数种破损(突然的或逐步的)、有数种观测这些破损的方法(长期的或短期的),以及约有一百种被单独地或结合地考虑的信号。因此,存在许多异常检测模块(数千个),所有这些异常检测模块在每次飞行后均提供其异常指标,其中每个异常指标可与置信指标相关联。

[0029] 这些异常指标被提供给警报触发单元34。该单元34被配置为如果确认发动机的运行参数之一的分析结果符合阈值超出确认规则,则发出警报A1。该阈值超出确认规则例如可以是前述的规则之一:第I类(阈值超出规则对应于在发动机寿命期间的k个运行周期中对阈值超出的检测,k为正整数)、第II类(阈值超出规则对应于在发动机的k个连续运行周期中对阈值超出检测,k为正整数)或第III类(阈值超出规则对应于在n个连续运行周期中针对k个运行周期对阈值超出检测,k和n为正整数,n大于k)。以涡轮机为例,运行周期通常对应于具有有机载涡轮机的飞机的飞行。

[0030] 由警报触发单元34发出的警报A1与发动机的给定退化类型的发生概率(称为 P_{init})相关联。

[0031] 根据本发明,观察系统1还包括发动机运行条件监视单元4以及警报确认单元5,该发动机运行条件监视单元被配置为确定发动机的磨损率 U_s ,并且该警报确认单元被配置为用所确定的磨损率对所述发生概率 P_{init} 进行加权。因此,警报确认单元根据校正后的发生概率 $P_{corr} = P_{init} * U_s$ 发出校正后的警报A1*,该校正后的警报A1*对应于所述给定退化类型的发生概率。

[0032] 为了清楚起见,将注意到,例如在磨损率为5%的情况下,发动机仍具有几乎其全部的潜力,因此没有理由怀疑它退化了。相反,在磨损率为95%的情况下,发动机处于使用寿命的终点,其剩余潜力非常低,因此有理由怀疑它已退化。

[0033] 发动机运行条件监视单元4可以特别地被配置为确定发动机自其首次运行以来的年限,并由此推导出标称模式磨损率,该标称模式磨损率对应于标称运行条件。在图2中,于是示出了发动机的剩余潜力P随时间t的演变的示例,该发动机处于标称运行条件下。通过使用发动机初始潜力的百分比表示,剩余潜力P能够使得根据 $U_s = 100 - P$ 推导出磨损率 U_s 。

[0034] 发动机运行条件监视单元4例如可以被配置为:确定发动机自从其首次运行以来处于临界运行条件下所花费的时间,并由此推导出退化模式磨损率;以及从退化模式磨损率和标称模式磨损率确定发动机的磨损率 U_s 。发动机的磨损率 U_s 例如通过将退化模式磨损

率与标称模式磨损率结合(例如通过简单地彼此相加)来确定。

[0035] 举例来说,标称模式磨损率和退化模式磨损率可以根据由一个或多个传感器感测到的测量确定,与该传感器或这些传感器有关的测量信号然后被传输至发动机运行条件监视单元4,以便得知易于磨损的元件的退化状态。

[0036] 通常,该传感器类型测量与该传感器所连接的部件的损坏或磨损有关的局部通用参数。然后,该传感器进行计算,并存储该计算的结果以及相关的历史记录。替代性地,也可以通过该单元4来进行磨损计算,该单元4收集数据,并根据由传感器传输的测量信号来确定磨损率。有利地,借助于无线连接将数据从传感器下载到发动机运行条件监视单元4。因此,每个传感器可以与与易于磨损的飞机部件有关的待测量的量相关联。每个传感器都能够随着时间的推移而传送表示相关量的值的该测量信号。这些是计算磨损所必需的物理量。例如,这种量是具有连续值的量,诸如部件的本体温度、部件承受的振动幅度、部件的伸长率、部件附近的环境温度、流体(诸如空气、油或燃料)的流量、涡轮机的流体压力或速度。根据另一个示例,这种量是具有离散值的量,诸如飞行阶段或涡轮机的运行状态。

[0037] 在一个实施例中,发动机运行条件监视单元4根据由所观察的部件的传感器发送的与临界运行条件有关的测量数据来估计退化模式磨损率,该测量数据即为当所观察的部件在给定物理量的标称范围之外运行时的测量数据。例如,如果部件的标称温度范围在10°C至20°C之间,则单元4使用由传感器发送的数据,以便基于待观察的部件在该标称范围之外运行时的测量数据来计算退化模式磨损率。类似地,发动机运行条件监视单元4可以根据由所观察的部件的传感器发送的与标称运行条件有关的数据来估计标称模式磨损率,该数据即为当所观察的部件在给定物理量的标称范围内运行时的数据。例如,如果部件的标称温度范围在10°C至20°C之间,则单元4使用由传感器传输的数据,以便基于待观察的部件的测量数据来计算标称模式磨损率,该测量数据对应于待观察的部件当在该标称范围内运行时的运行。

[0038] 从由传感器感测到的测量数据可以推导出时间数据。例如,通过将例如测量数据与对应于部件的使用状态的数据进行比较,该时间数据使得发动机的利用时间能够从该测量数据中近似得出。例如可以将将在组件上感测到的温度测量值与对应于所述部件的使用状态的温度值范围进行比较,该比较能够推断出该部件是否处于其使用状态。

[0039] 利用与与临界运行条件有关的测量数据和与标称运行条件有关的测量数据相关联的该时间数据,还可以分别估计出退化模式磨损率和标称模式磨损率。该估计可以基于该数据的值与发动机运行条件监视单元4中存储的预定值的比较,该比较使得能够评估表示磨损的百分比或指数。

[0040] 如上面的描述中所述,磨损率 U_s 例如可以通过将退化模式磨损率与标称模式磨损率结合(例如通过简单地彼此相加)来确定。该磨损率 U_s 也可以仅基于退化模式磨损率或标称模式磨损率。

[0041] 在图3中,于是示出了发动机的剩余潜力P随时间t的演变的示例,除了经受临界运行条件并进一步退化的三个阶段P1、P2、P3之外,该发动机都处于标称运行条件。

[0042] 标称模式潜力特性、临界运行条件的定义及其对潜力退化的影响特性对于每个发动机及其运行环境来说都是唯一的。经受标称运行条件的发动机的剩余潜力P例如随着时间t线性或渐进地变化。如果需要,可以通过实施所需的退化并评估这些退化对发动机潜力

的影响来进行测试。

[0043] 举例来说,对于涡轮机,可以保留以下任一临界运行条件:

[0044] -在标称温度范围之外的运行;

[0045] -在标称湿度范围之外的运行;

[0046] -在标称压力范围之外的运行;以及

[0047] -与腐蚀性产品接触下的运行。

[0048] 本发明不限于如上所述的系统,而且还可扩展到用于监视飞机发动机的健康状况的方法。参照图4,该方法包括异常检测步骤,该异常检测步骤包括对发动机运行参数进行“AnP”分析,以及如果发动机运行参数之一的分析结果超出阈值,则发出警报A1,该警报与发动机的给定退化类型的发生概率相关联。该警报A1通常在符合阈值超出规则的确认“CONF-TH”之后发出。

[0049] 该方法还包括:对发动机运行条件进行监视以确定发动机的磨损率 U_s 的步骤;以及警报确认步骤“CONF-AL”,在该警报确认步骤期间,用所确定的磨损率对所述发生概率进行加权,从而提供校正后的警报A1*。

[0050] 发动机运行条件监视步骤执行确定发动机的标称模式磨损率 U_{s-n} 的操作“Nom”。该步骤还包括:确定发动机自其首次运行以来处于临界运行条件下所花费的时间的操作“Deg”,以由此推导出退化模式磨损率 U_{s-d} ;以及通过将退化模式磨损率与标称模式磨损率相加来确定发动机的磨损率的操作“DET-U”。

[0051] 本发明还扩展到一种计算机程序产品,该计算机程序产品包括代码指令,当所述程序在计算机上运行时,该代码指令用于运行根据本发明的方法的步骤。

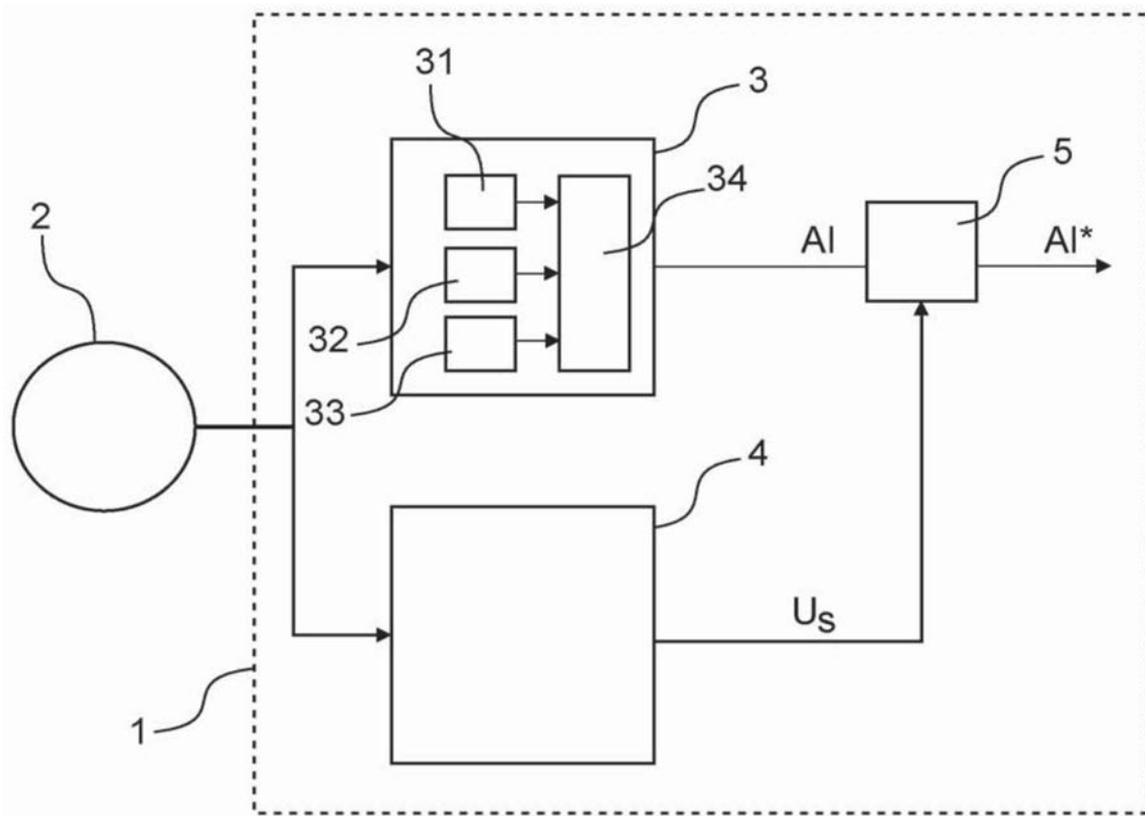


图1

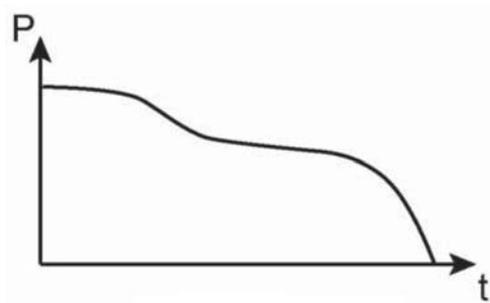


图2

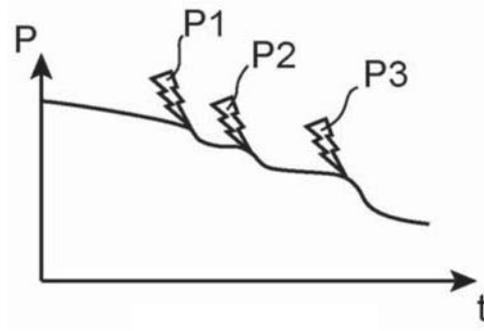


图3

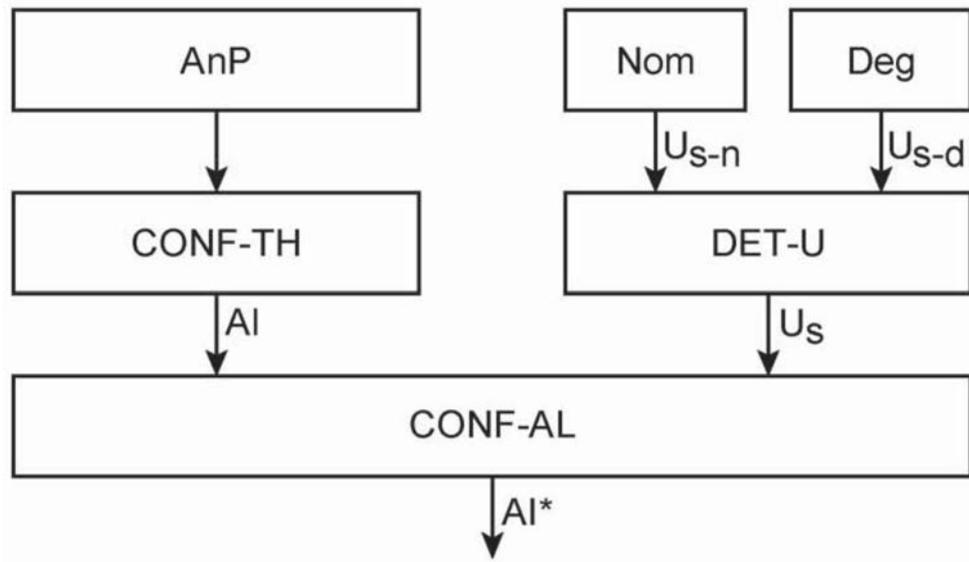


图4