



面向智能配电网的通信业务逃生策略

邓伟¹, 刘军雨¹, 刘哲¹, 李淑贤²

(1. 北京国电网络技术有限公司, 北京 100070;

2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘 要: 随着智能电网的发展, 配电网通信网络对智能配电网的支撑作用越来越重要。配电网通信业务种类多、通信需求差异大, 单一网络无法满足各类通信业务的需求, 因此智能配电通信中的异构网络架构十分必要。为了提高配电网运行可靠性, 在异构接入网的基础上, 综合考虑配电通信网络当前状态和配网业务通信需求, 提出了一种基于网络效用的多目标业务逃生策略。该策略针对实时 (RT) 业务和非实时 (NRT) 业务需求, 根据网络承担负载能力, 建立了关于 RT 业务服务率函数和 NRT 业务服务率函数的多目标模型, 然后利用 NSGA-II 求解 Pareto 前端。仿真结果表明, 该策略可以在配电通信网络发生故障时保证 RT 业务和 NRT 业务配网业务的逃生率及时效性。

关键词: 智能配电网; 接入网; 业务逃生

中图分类号: TP391.1

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018117

Communication service escape strategy oriented to the smart distribution grid

DENG Wei¹, LIU Junyu¹, LIU Zhe¹, LI Shuxian²

1. GuoDianTong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

Abstract: With the development of the smart grid, the communication network for distribution grid plays a more and more important supporting role in smart distribution grid. There are various types of communication services in distribution grid, and they differ in communication requirements. A single network cannot meet the needs of all of them. Thus, it is necessary to introduce the heterogeneous network architecture into smart distribution. To improve the reliability of distribution grid, a multi-objective escape strategy based on heterogeneous access networks was proposed, which considered the current state of the communication and services requirements. Based on the network capacity, a multi-objective model subjected to the service functions of real-time (RT) and non-real-time (NRT) services was constructed by this strategy. And then NSGA-II was adopted to get the Pareto front. The simulation results show that the strategy can guarantee the escape rate and timelines of RT and NRT distribution services.

Key words: smart distribution network, access network, service escape

1 引言

智能配电网直接面向社会和客户,是智能电网的基础和重要组成部分。智能配电通信网是配电网智能化的关键,它承载着各种配电业务,是保证配电网正常运行、故障快速响应、资源高效利用、业务实时传输、电力生产可持续的信息通道^[1]。由于智能配电网具有覆盖范围广、节点多、业务类型复杂、通信总量大的特点,业务的接入选择会直接影响到业务的传输质量。随着智能电网向能源互联网发展^[2],信息的分布更加广泛和零散、节点信息双向流动性增强等使以光纤和电缆为代表的传统有线通信方式在部署和成本方面存在明显的弊端。宽带无线通信网络接入灵活、使用方便、业务支撑能力强、投资成本低,在配网自动化和用电信息采集系统中作为通信通道已经成为国际电力界公认的技术趋势^[3]。

然而,目前单一的接入技术无法完全满足配电网通信的要求。因此,为了确保配电网通信的安全性和可靠性,采用多种接入技术相互补充,形成异构接入网络,是有效的解决方案之一。在异构网络覆盖区域,各种配电业务可以根据自身的服务质量(quality of service, QoS)需求以及网络的当前状况,选择合适的接入网络,各网络优势互补,可保证配电业务的传输质量。同时,异构网络的架构,降低了因个别网络故障而导致配电业务完全无法传输的概率。在这种网络架构下,故障网络中的业务可以转移到其他网络进行传输,即业务可以通过逃生通道进行传输,但现有的异构网络接入研究中并没有针对业务逃生策略的研究。对候选网络而言,转移的业务也是接入的业务,因此针对逃生情况下的网络接入控制策略是业务能否合理逃生的关键。网络接入控制算法往往考虑的是业务的 QoS^[4]、网络负载^[5-7]、基站能效管理^[8]等。参考文献[4]针对异构无线网络融合环境,提出了一种用于异构网络环境的新型

的联合呼叫接纳控制,将新呼叫和切换呼叫作为触发接纳控制的事件,对影响服务质量的参数和接纳控制收益进行网络效用建模分析,使用改进的值迭代算法来降低计算复杂度,将阈值函数分成多个域,获得最优决策策略。参考文献[5-7]都对异构网络环境下的网络负载均衡进行了研究。其中,参考文献[7]提出了一种基于接入选择和业务转移的动态负载均衡机制,设计了接入选择问题的优化模型,通过求解模型得到了最优接入选择方案,根据接入选择方案把接入任务均衡地分配到各个基站小区中;为了削弱热点小区突发性业务对系统负载均衡型的破坏,给出了基站基于负载率阈值的业务转移方案。参考文献[8]提出了一种基于能效优化的异构网络资源分配算法,该算法以能量效率为优化目标,在跨层干扰和功率限制等限制条件下,进行子载波信道和功率的联合资源分配。在以上文献中,业务转移出的网络虽是重载网络,但仍能够传输各类业务,只需转移出部分业务,使各网络负载均衡即可;而在业务逃生情况下,故障网络已无法工作,故业务应尽可能多地转移出去。同时,在逃生情况下,为了保证 RT 业务的实时性,应优先转移 RT 业务;而在业务由重载向轻载业务转移过程中,为了保证 RT 业务的实时性,优先转移的往往是 NRT 业务。因此,现有的接入控制算法不能直接地应用于业务逃生的情况。

本文在异构网络的架构下,提出了一种基于逃生率、RT 业务阻塞率和 NRT 业务传输时间的多目标业务逃生策略。在该策略中,将业务分为 RT 和 NRT,考虑到 RT 和 NRT 的特性,为了区分服务,分别针对这两种业务建立了关于阻塞率和平均传输时间的服务率函数,以衡量备选网络对不同业务的服务能力;并将它们作为目标,建立了一个多目标模型,对其进行求解。仿真结果表明,该算法可以有效提高业务逃生率,并保证业务的时效性。



2 多目标业务逃生策略

2.1 异构网络架构

面向智能配电的异构接入网络包括配电子站、接入网层和终端层。接入层通信网络实现配电子站和配电终端之间的通信,如图1所示。应用于接入层的通信技术有光纤通信技术、TD-LTE 无线公网、3G 和 WLAN 等无线网络技术以及无线自组网技术等。光纤通信技术具有传输频带宽、传输容量大、安全保密性好的特点^[9]; TD-LTE 无线公网技术具有通信速率高、频带利用率高和提供 QoS 保证的优点^[10]; WLAN 技术具有一定的灵活性和扩展性,设置方便。无线自组网技术具有自组织、自愈合、无中心、多跳路由等特点,无需依赖预先架设的网络基础设施,特别适合应急通信突发、临时性通信场合,是常规通信手段的必要补充和发展。在实际应用中,特别是应急通信场合下,无线自组网也可与其他网络互连^[11]。光纤通信技术与各种无线通信技术异构融合,优势互补,形成了以光纤网络为主、无线宽带网络为辅、无线自组网络做补充的异构网络架构,最终满足智能配电网各类业务的可靠性与实时性要求。

2.2 问题描述及分析

在上述异构接入网架构中,各网络承载着各自的业务,但当有网络出现故障暂时无法恢复时,业务会在故障网络中积压,积压的业务需要及时转移到其他网络中,并继续传输,即业务需要逃生。在逃生过程中业务应尽可能多地转移到其他的网络,并且转移出去的业务应能通过转移后的网络及时传输出去,即在业务逃生策略中,关注的是业务逃生率及业务传输的时效性。

智能配电网中的通信业务分为 RT 业务和 NRT 业务。RT 业务本身对时延的要求较高,网络中断后,业务产生积压,造成一定的时延,加剧了 RT 的传输紧迫性,与 NRT 业务相比,应优先

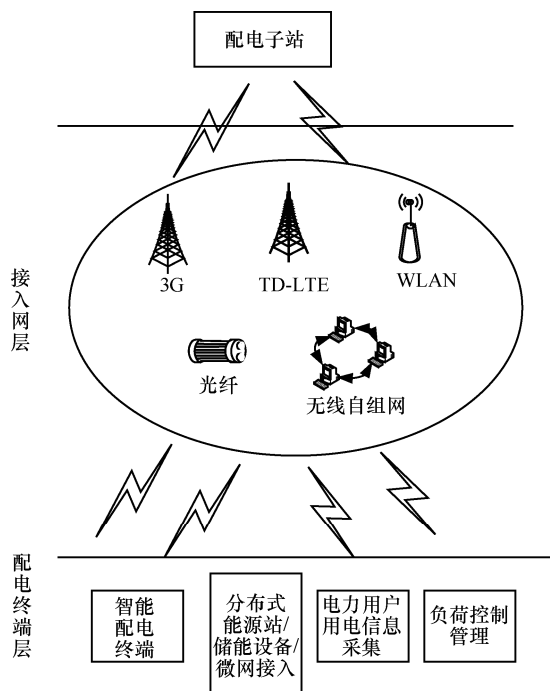


图1 面向智能配电网的异构接入网络架构

转移到其他网络继续传输。但考虑到备选网络的负载等状况,转移业务可能会被阻塞,备选网络对 RT 业务的阻塞率越小越好;而对 NRT 业务,只要保证其在规定的时间内传输即可。所以,本文分别构造了关于 RT 和 NRT 业务的服务率函数,以衡量各网络对不同业务的服务能力,并将它们作为目标,建立了多目标模型。

假设在异构接入网中,因某网络故障而积压的 RT 业务和 NRT 业务数为 K , 可用网络的集合为 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 。对候选网络 i , 当前有 A_i 个 RT 业务和 B_i 个 NRT 业务, 逃生到网络 i 中的 RT 业务和 NRT 业务数目分别为 $K_{RT}(i)$ 和 $K_{NRT}(i)$,

$K \geq \sum_{i=1}^n (K_{RT}(i) + K_{NRT}(i))$, 网络 i 的容量为 C_i 。

$X = \{x_{ij}, i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, K\}$ 为业务接入矩阵, $x_{ij}=1$ 表示业务 j 接入网络 i , $x_{ij}=0$ 表示业务 j 未接入网络 i , 每个业务至多接入 1 个网络。

(1) RT 业务服务率函数

在逃生策略中,为了保证 RT 业务实时性和可靠性,要确保它的阻塞率要小于阻塞阈值,当阻塞率小于阈值时,可认为网络满足 RT 业务的服务

质量需求；当阻塞率大于阈值时，网络对业务的服务质量下降。一般情况下，随着阻塞率的增加，网络对业务的服务能力下降。因此，构造对 RT 业务的服务率函数如下：

$$\eta_{\text{RT}}(i) = \begin{cases} 1, & p_{\text{RT}}(i) < p_{\text{RT_th}} \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{1 - p_{\text{RT_th}}}(p_{\text{RT}}(i) - p_{\text{RT_th}})\right) \right), & p_{\text{RT_th}} \leq p_{\text{RT}}(i) \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中， $p_{\text{RT}}(i)$ [12] 是网络 i 中 RT 业务的阻塞率， $p_{\text{RT_th}}$ 为 RT 业务对阻塞率阈值，当业务的阻塞率小于该阈值时，认为网络 i 的服务能力为 1，此时网络对 RT 业务的传输效果最好；若大于该阈值，则 $\eta_{\text{RT}}(i)$ 的值随着阻塞率的增加而减小。由上述分析可知，网络的对 RT 业务的服务能力随阻塞率的增大而减小，服务率函数值越大越好。

(2) NRT 业务服务率函数

考虑到 RT 业务的时间紧迫性，RT 业务一般会优先于 NRT 业务转移，NRT 业务积压时间会相对较长，为了兼顾 NRT 业务的传输效果，要注重 NRT 业务的传输时间，以免 NRT 业务长时间积压，造成 NRT 传输失败。一般来说，网络对 NRT 的传输能力与其当前的负载强度有关，定义网络 i 承载 NRT 业务的负载强度 $\rho_{\text{NRT}}(i)$ 为：

$$\rho_{\text{NRT}}(i) = \frac{\lambda_{\text{NRT}} b_{\text{NRT}}}{C_{\text{NRT}}(i)} \quad (2)$$

其中， λ_{NRT} 为 NRT 的到达率， b_{NRT} 为网络为 NRT 业务分配的带宽， $C_{\text{NRT}}(i) = C_i - A_i b_{\text{RT}} - B_i b_{\text{NRT}} - \sum_{j=1}^{K_{\text{RT}}} x_{ij} b_{\text{RT}}$ ，为网络 i 剩余给 NRT 业务的带宽。可见，网络的剩余带宽越大、NRT 的到达速率越小，网络的负载强度就越小。基于网络 i 的负载强度，得到 NRT 业务的平均传输时间 [13] 为：

$$T_{\text{NRT}}(i) = \frac{(\rho_{\text{NRT}}(i))^{N_{\text{NRT}}(i)+1} (N_{\text{NRT}}(i) \rho_{\text{NRT}}(i) - N_{\text{NRT}}(i) - 1) + \rho_{\text{NRT}}(i)}{\lambda_{\text{NRT}} (1 - (\rho_{\text{NRT}}(i))^{N_{\text{NRT}}(i)}) (1 - \rho_{\text{NRT}}(i))} \quad (3)$$

其中， $N_{\text{NRT}}(i)$ 为网络 i 还能够承载的 NRT 的数量， $N_{\text{NRT}}(i) = \frac{C_{\text{NRT}}(i)}{b_{\text{NRT}}}$ 。参考指数调度算法 [14] 衡量

网络对 NRT 业务的服务能力，定义当前网络对 NRT 业务的服务率函数为：

$$U_{\text{NRT}}(i) = \begin{cases} 1, & T_{\text{NRT}}(i) \leq T_{\text{NRT_tag}} \\ \exp(T_{\text{NRT_tag}} - T_{\text{NRT}}(i)), & T_{\text{NRT}}(i) > T_{\text{NRT_tag}} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $T_{\text{NRT}}(i)$ 为网络 i 的 NRT 业务平均传输时间， $T_{\text{NRT_tag}}$ 为 NRT 业务对平均传输时间的要求。网络 i 的平均传输时间不超过 NRT 业务对平均传输时间的要求时， $U_{\text{NRT}}(i) = 1$ ，此时，网络对 NRT 的服务能力最强；网络 i 的平均传输时间大于 NRT 业务对平均传输时间的要求时， $U_{\text{NRT}}(i)$ 指数将下降。因此，NRT 业务平均传输时间函数值越大越好。

本文在综合考虑网络对 RT 业务及 NRT 业务的服务能力的基础上，设计了一个多目标业务逃生策略。在本策略中，每个业务至多接入 1 个网络，对一个网络来说，占用网络的带宽应不大于网络的总容量。综上，构造了以下业务逃生模型：

$$\begin{aligned} \max f(X) &= \sum_{i=1}^n \eta_{\text{RT}}(i) \\ \max g(X) &= \sum_{i=1}^n U_{\text{NRT}}(i) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_{i=1}^N x_{ij} \leq 1, j=1, 2, \dots, K \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, K \\ \sum_{j=1}^K x_{ij} b_j \leq C_i, i=1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 优化与求解

本文采用 NSGA-II 来求解上述模型，NSGA-II



一般用来求解最小化多目标问题,为此,对该模型的目标函数进行适当地改造:

$$\begin{aligned} \min f_1(X) &= \frac{1}{f(X)} \\ \min f_2(X) &= \frac{1}{g(X)} \end{aligned} \quad (6)$$

算法实现的具体步骤如下。

步骤 1 编码和种群初始化: 假设共有 n 个可用接入网络,则每个逃生业务有 $n+1$ 种选择,对这 $n+1$ 种选择进行二进制编码,编码位数为 $x = \lceil \lg(n+1) \rceil$ 。二进制转换为十进制后的取值为 $0 \sim 2^x - 1$,其中, $1 \sim n$ 代表业务接入网络 $1 \sim n$,业务逃生成功;其他取值代表业务未接入网络,即业务逃生失败,并定义逃生率为成功逃生业务占总业务数的比例。设置最大迭代次数 $t_{\max}$,令 $t = 0$,随机产生规模为 L 的初始父代种群 $P(t)$,种群中的每个个体为一种可能的接入方式。对 $P(t)$ 进行非支配排序,初始化每个个体的 rank 值。

步骤 2 通过二进制锦标赛法从 $P(t)$ 中选择若干个个体,并进行单点交叉和单点变异操作,产生新一代种群 $Q(t)$ 。

步骤 3 将父代种群 $P(t)$ 和子代种群 $Q(t)$ 合并, $R(t) = P(t) \cup Q(t)$,对 $R(t)$ 进行非支配排序,同时对每个非支配层中的个体进行拥挤距离并降序排序,依据等级的高低逐一选取个体,直到个体数量达到 L ,形成新的父代种群 $P(t+1)$ 。

步骤 4 令 $t = t + 1$,若 $t \leq t_{\max}$,则返回步骤 2;否则,算法结束,得到 Pareto (帕累托) 最优解。

由于多目标优化算法得到的是 Pareto 最优解,即通过求解上述模型,会得到多个业务逃生方案。在逃生策略中,综合考虑了 RT 业务阻塞率、NRT 业务的传输时间以及逃生业务数,在选择最终方案时,本文根据参考文献[15],按照式 (7) 进行折中:

$$X = \arg \min \left\{ \frac{f_1(X_j)}{f_{1\min}} + \frac{f_2(X_j)}{f_{2\min}} \right\}, j = 1, 2, \dots, J \quad (7)$$

其中, J 为优势个体个数。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真场景

本文的仿真场景如图 2 所示,逃生业务位于 WLAN 和两个 3G 网络重叠覆盖区域。为模拟业务逃生,随机产生故障网络中积压的 RT 和 NRT 配电通信业务数为 20~160 个。以下仿真首先对逃生策略的性能进行了分析,然后与 MLB 算法^[16]进行了对比。MLB 算法是常用的业务接入算法,用以实现网络负载均衡的业务接入。

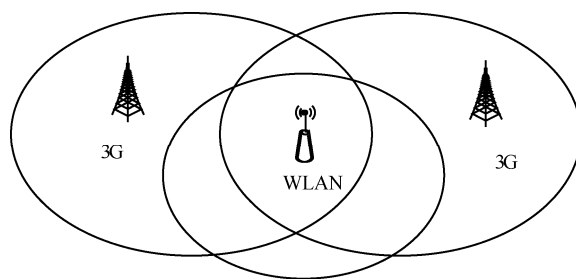


图 2 仿真场景

NSGA-II 的参数分别设置为:种群规模 $L = 50$,最大迭代次数 $t_{\max} = 100$,单点交叉概率 $p_c = 0.85$,单点变异概率 $p_m = 0.1$ 。WLAN 的上行速率为 5 Mbit/s,3G 的上行速率是 6.5 Mbit/s。RT 的阻塞率阈值为 0.1,NRT 的平均传输时间限制为 20 ms。

3.2 算法性能

图 3 对 RT 业务和 NRT 业务的逃生率进行了对比。在业务数较少(小于 100)时,RT 业务和 NRT 业务的逃生率都接近 1,此时网络资源充足,可以为逃生业务提供足够的逃生资源;而随着业务数的增大,当业务数为 100~120 时,NRT 业务的逃生率明显下降,而 RT 业务的逃生率仍维持在 1 左右;当业务数继续增大,两种业务的逃生率都下降,但 RT 业务的逃生率下降趋势较 NRT 业务缓慢。在业务数为 160 时,RT 业务的逃生率为 0.79,而 NRT 业务的逃生率仅为 0.56。从以上分析可以看出,能够为 RT 业务和 NRT 业务提供区分服务,更加有效地分配资源。

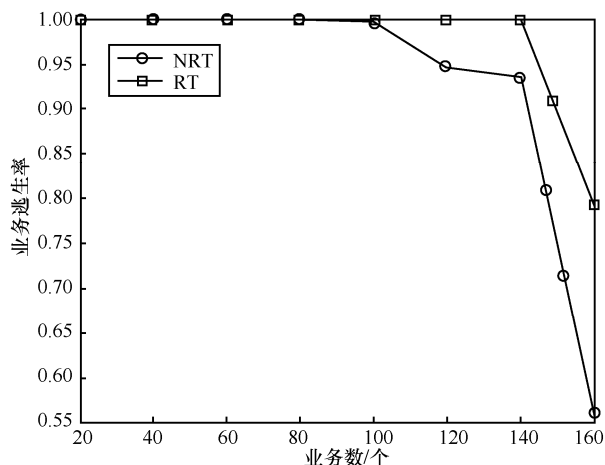


图3 RT业务和NRT业务逃生率对比

图4对比了网络负载率随到达业务数的变化情况。由图4可知，两种算法的负载率随业务数变化情况基本相同，均从0.68上升到0.98。由网络负载率曲线可知，两种算法对网络的利用率基本相同，承载的业务数目大致相当。

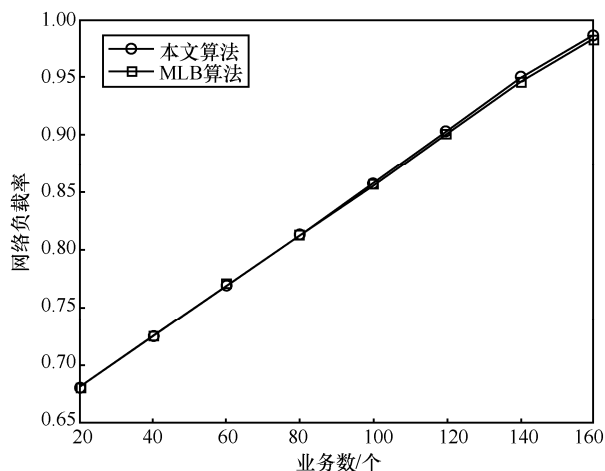


图4 网络负载率变化

图5反映了本文算法与MLB算法的RT业务逃生率对比情况。在业务数小于140时，两种算法的逃生率均为1，即RT业务全部逃生。但当业务数大于140时，两种算法的逃生率都开始下降。在业务数为160时，本文算法的逃生率仍接近0.80，而MLB算法的逃生率只有0.63左右。这是因为本文的逃生算法将业务的逃生率作为一个目标，而MLB算法是以负载均衡为目标，目标不同

导致算法对网络带宽的安排不同。可见，与MLB算法相较，本文算法能够提高RT业务的逃生率。

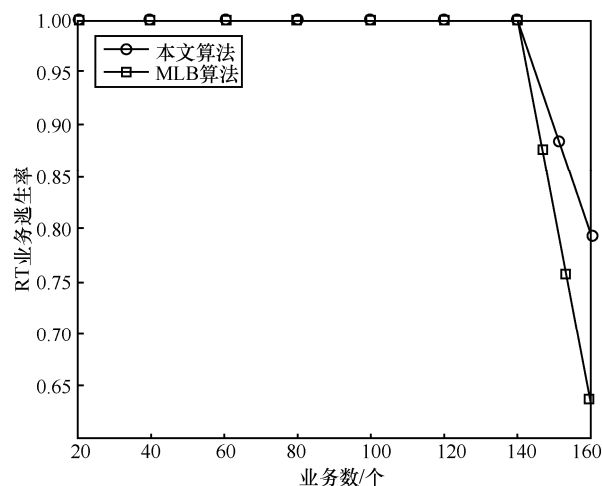


图5 RT业务逃生率与MLB算法对比

图6对两种算法中NRT业务的逃生率进行比较。在业务数小于100时，两种算法的逃生率都接近1；业务数大于100时，都开始下降，并且在100~140时，它们的逃生率变化基本一致。但当业务数大于140后，都开始大幅度下降。在业务数为160时，本文算法的NRT业务逃生率在0.55左右，而MLB算法几乎下降到0。结合图4分析可知，在网络资源相对宽裕（业务数小于140）时，两种算法的逃生能力基本相同。但随着网络剩余资源的减少，网络资源变得紧张，本文算法能够较好地维持RT业务和NRT业务的逃生率。

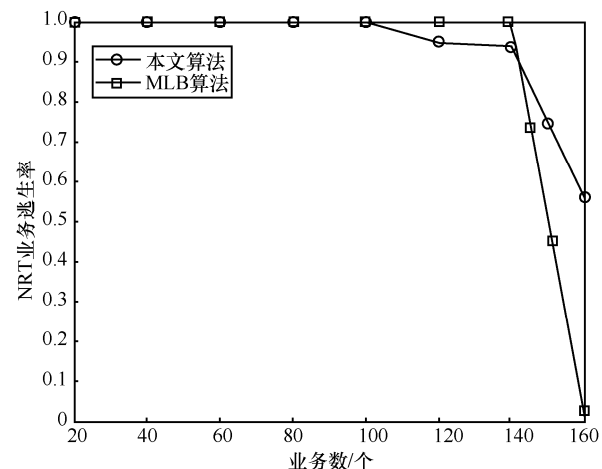


图6 NRT业务逃生率与MLB算法对比



图7是NRT业务的平均传输时间与MLB算法的对比结果。从图7中可知,本文算法的NRT业务平均传输时间大于MLB算法,在业务数大于80后,差距更加明显。从图4可知,两种算法中网络负载率大致相同,即接入业务的总带宽相当。图5和图6表明,本文算法在逃生率的性能上要优于MLB算法。结合图7可知,本文算法牺牲了NRT业务的传输时间换取RT业务和NRT业务更高的逃生率。而且两种算法的时间相差并不多,都满足NRT的需求。因此,综合来说,本文算法的性能更加优越。

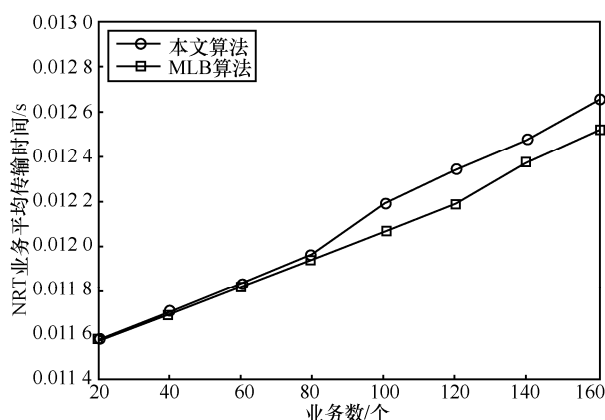


图7 NRT业务平均传输时间与MLB算法对比

4 结束语

本文从智能配电网的需求出发,在异构接入网络架构下,为了降低个别网络故障造成业务传输的毁灭性破坏,提高网络的可靠性,提出了一种基于网络效用的业务逃生策略。该策略中,优先转移故障网络中的RT业务,以降低其阻塞率,同时为了保证NRT业务的时效性,分别定义了两种业务的服务率函数;基于RT业务和NRT业务服务率函数,建立了多目标模型。仿真结果表明,本文算法可以有效地区分RT和NRT业务,同时与MLB算法相比,可以提高业务总体逃生成功率、保证业务的时效性。

参考文献:

[1] 雷煜卿,李建岐,侯宝素. 面向智能电网的配用电通信网络研究[J]. 电网技术, 2011, 35(12): 14-19.

LEI Y Q, LI J Q, HOU B S. Research on electric communication network for smart grid[J]. Power Grid Technology, 2011, 35(12): 14-19.

[2] 刘甲男, 杜彦洁, 孟宪义. 基于互联网思维的能源互联网发展[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 176-182.

LIU J N, DU Y J, MENG X Y. Development of energy internet based on internet thinking [J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 176-182.

[3] 岳丽霞. 基于业务的配电宽带无线通信网络性能测试系统研究与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

YUE L X. Research and implementation of service based performance testing system for distribution broadband wireless communication network[D]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University, 2014.

[4] 张媛媛. 基于QoS保证的异构网关键技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.

ZHANG Y Y. Research on key technologies of heterogeneous network based on QoS guarantee[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016.

[5] 闫永霞. 面向智能配电的异构融合通信网络动态负载均衡[J]. 电子测试, 2017(1): 85-86.

YANG Y X. Dynamic load balancing of heterogeneous fusion communication networks for intelligent distribution[J]. Electronic Test, 2017(1): 85-86.

[6] 石文孝, 张阁, 王继红, 等. 基于网络的异构无线网络负载均衡算法[J]. 吉林大学学报(工), 2013, 43(3): 788-793.

SHI W X, ZHANG G, WANG J H, et al. Grid based load balancing algorithm for heterogeneous wireless networks[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2013, 43(3): 788-793.

[7] 朱思峰, 沈连丰, 柴争义. 基于接入选择和业务转移的异构网络动态负载均衡机制[J]. 高技术通讯, 2014(10): 1007-1013.

ZHU S F, SHEN L F, CHAI Z Y. Dynamic load balancing mechanism of heterogeneous networks based on access selection and service transfer[J]. High Tech Communications, 2014(10): 1007-1013.

[8] 钱进, 王孝, 郭士增. 基于能效优化的异构网络资源分配算法设计[J]. 通信技术, 2016, 49(2): 199-204.

QIAN J, WANG X, GUO S Z. Design of resource allocation algorithm for heterogeneous network based on energy efficiency optimization[J]. Communications Technology, 2016, 49(2): 199-204.

[9] 崔秀国, 刘翔, 操时宜, 等. 光纤通信系统技术的发展、挑战与机遇[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 34-43.

CUI X G, LIU X, CAO S Y, et al. Development, challenge and

opportunity of optical fiber communication system technologies [J]. Telecommunications Science, 2016, 32(5): 34-43.

- [10] 卢卫, 陆希玉. 4G 时代移动互联网的发展趋势[J]. 电信科学, 2014, 30(5): 51-54.

LU W, LU X Y. Mobile internet trends in 4G era[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(5): 51-54.

- [11] 王海涛. 应急通信网络中的异构网络互联问题及实现机制研究[J]. 电信科学, 2011, 27(3): 65-70.

WANG H T. Research on heterogeneous network interconnection and implementation mechanism in emergency communication network[J]. Telecommunications Science, 2011, 27(3): 65-70.

- [12] BOUCHER J. Traffic system design handbook: timesaving telecommunication traffic tables and programs[M]. Piscataway: IEEE Press, 1993: 33-78.

- [13] LITJENS R, BOUCHERIE R J. Elastic calls in an integrated services network: the greater the call size variability the better the QoS[J]. Performance Evaluation, 2003, 52(4): 193-220.

- [14] SHAKKOTTAI S, STOLYAR A L. Scheduling algorithms for a mixture of real-time and non-real-time data in HDR[J]. Teletraffic Science & Engineering, 2001: 793-804.

- [15] 张连文, 夏人伟. Pareto 最优解及其优化算法[J]. 北京航空航天大学学报, 1997(2): 206-211.

ZHANG L W, XIA R W. Optimal solution and its optimization algorithm of Pareto[J]. Journal of Beihang University, 1997(2): 206-211.

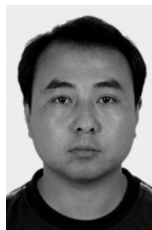
- [16] 孙卓, 刘铁军, 张倩倩, 等. 异构无线分组网络中的接入选择机制[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2762-2769.

SUN Z, LIU T J, ZHANG Q Q, et al. Access selection mechanism in heterogeneous wireless packet networks[J]. Journal of system simulation 2008, 20(10): 2762-2769.

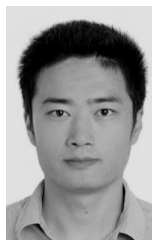
[作者简介]



邓伟 (1976-), 男, 北京国电通网络技术有限公司总经理助理兼通信技术中心总监, 主要研究方向为电力信息通信和无线通信等。



刘军雨 (1981-), 男, 北京国电通网络技术有限公司通信技术中心产品研发部经理、高级工程师, 主要从事国家电网公司终端通信网、电力无线专网、多频异构网络融合、电力无线专网终端设备制造等工作。



刘哲 (1986-), 男, 北京国电通网络技术有限公司通信技术中心产品经理、初级工程师, 主要致力于电力无线专网技术研究及产品开发工作。



李淑贤 (1990-), 女, 华北电力大学硕士生, 主要研究方向为无线通信资源管理。