

# Research of Connection Continuity of White Space Backup Network

Xinfeng Zhao, Wensheng Sun

Institute of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou  
Email: [xfduxue@163.com](mailto:xfduxue@163.com)

Received: Dec. 13<sup>th</sup>, 2013; revised: Dec. 16<sup>th</sup>, 2013; accepted: Dec. 19<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2014 Xinfeng Zhao, Wensheng Sun. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xinfeng Zhao, Wensheng Sun. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** This paper proposes the white space backup network that operates on TV spectrum to provide a better reliability access network than conventional unlicensed-based access networks. The numerical results of performance evaluation demonstrate that the proposed white space backup network can contribute to less time delay in the delivery of messages or transactions than the time delay of the conventional approach, and this is a crucial benefit to time-critical applications such as heavy traffic. We expect that the deployment of the white space backup networks can assist those heavy traffic applications to achieve a shorter processing time even under a broken Internet or WAN connection.

**Keywords:** White Space; Backup Network Architecture; Wireless Access Network; WIFI

## 基于“白色空间”的备份网络不间断通信研究

赵新锋, 孙文胜

杭州电子科技大学通信工程学院, 杭州  
Email: [xfduxue@163.com](mailto:xfduxue@163.com)

收稿日期: 2013年12月13日; 修回日期: 2013年12月16日; 录用日期: 2013年12月19日

**摘要:** 提出了一种基于广播电视频段的“白色空间”备份网络, 它提供更具有可靠性的接入网, 比传统的接入网更具优势。仿真实验结果证明相比于传统方案, 提出的“白色空间”备份网络, 更有助于减小报文传输和交换的时延, 对于网络中的对时延敏感的大流量数据交换业务意义重大。在互联网或 WAN 中断的情况下, “白色空间”备份网络能够有利于大流量数据交换业务的快速处理。

**关键词:** 白色空间; 备份网络架构; 无线接入网; WIFI

### 1. 引言

目前, 用户可以通过有线或者无线接入的方式连接到 Internet, 当原有网络由于拥堵或者其他问题发生故障时, 如果等待原有的网络恢复, 则需要较长的时间。因此, 研究出一种恢复时延较小的备份网络仍然具有重大意义。网络通信中, 用户需要依赖较高的 QoS, 网络设备能够选择其中一种实惠可用的接入网

络, 而且要求它们必须保证在不同的接入网络之间切换的同时维持通信的不间断性, 可以设计垂直切换或者使用备份接入网络来保证, 对于垂直切换, 网络设备必须有多个网络连接, 我们提出两种网络设备类型: 设备类型 1 具备大量的异构需要授权使用的网络接口; 设备类型 2 具备一个需要授权使用的网络接口和多个不需要授权使用的网络接口。首先, 作为网络服务提

供者，部署设备 1 要为申请频段许可和网络管理投资大量的资金，其次，作为用户，使用较多的基于授权使用的接入网络每个月会支付较高的网络费用。因此，设备 1 不具有吸引力，对于成本问题，设备类型 2 有助于以较低的成本构建较好的备份网络，但是，它们的网络连接是基于不需要授权使用的接入网络，网络连接会存在潜在的不稳定性的风险，特别是在无线通信领域中，这种不稳定性会导致具体的应用业务连接到互联网时，得不到可靠性和安全性的保障，因此采用垂直切换的方法来保证 QoS 不适合。本文提出的使用广播电视频段的“白色空间”备份网络，构建出了一种可靠的备份网络。“白色空间”的信道占用策略是一个或者多个“白色空间”网络占用一个信道，即采用频分复用技术。与其它备份网络比较来说，运行在“白色空间”频段的“白色空间”网络设备能够维持较高可靠性的无线连接。

## 2. “白色空间”备份网络

“白色空间”指的是曾经为以前模拟电视台预留的无线电频段。白色空间备份网络的功能与 WIFI<sup>[1]</sup>类似，具有覆盖范围广、成本低的优点。本文中为了构建“白色空间”备份网络(White Space Backup Network, WSBN)，并没有给出“白色空间”信道分配的方法，假设运行在 WSBN 上的网络设备，已经具有分配“白色空间”信道的能力，而且网络设备与它们的邻居节点的通信是可互操作的。本文采用“白色空间”信道分配的跨层方案<sup>[2]</sup>，以增加具有异构“白色空间”接入能力的网络设备的兼容性。

### 2.1. 网络架构模型

图 1 描述了 WSBN 的网络架构模型。备份服务器为新的网络设备搜索加入 WSBN 提供了有效的位置列表信息，根据位置列表信息新的网络设备可以加入 WSBN。WSBN 网关扮演了路由器的角色，当网络拓扑发生变化时，网关可以提供这些变化给备份服务器，以告知备份服务器去实时更新位置列表信息，而且网关具备与网络接入点相同的功能。除了 WSBN 网关之外，所有运行在 WSBN 上的网络设备被分为两种节点类型：第一种类型是根节点 C2，另一种是叶子节点 C1, C3, C4。根节点 C2 是一个桥接器，它扮演了

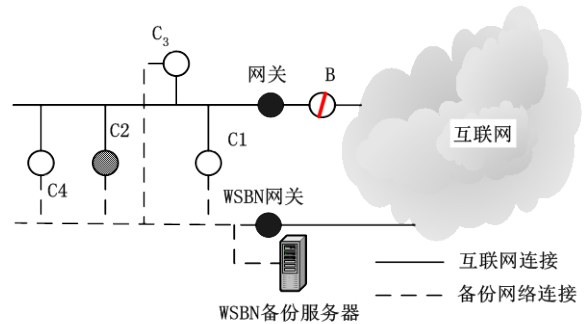


Figure 1. White space network architecture model

图 1. 白色空间网络架构模型

WSBN 网关和叶子节点间的中继节点的角色，根节点能够在 WSBN 网关突然故障的紧急情况下，管理 WSBN 和保障与互联网的连接问题；叶子节点是支持使用 WSBN 的用户，如果叶子节点的邻居节点或者网关节点为非活动状态，叶子节点可以成为根节点或网关节点。B 是网络故障点，当 C4 通过网关连接到的网络发生故障时，C4 会将自己的网络迁移至 WSBN。

### 2.2. WSBN 的功能

WSBN 有三个主要的功能，分别是：发现、加入和迁移功能。

#### 2.2.1. 发现

所有加入 WSBN 的网络设备能够从备份服务器中恢复出 WSBN 位置列表信息，使用来自备份服务器的位置列表信息，新加入网络的设备能够进行频谱感知<sup>[3,4]</sup>。根据频谱感知的结果，设备可以在它们当前的位置创建新的 WSBN，然后发送新的 WSBN 的注册请求给备份服务器。之后网关开始发送包含 WSBN 配置信息和网络信息的帧，但是本文并没有介绍有关帧的结构和广播信号帧的详细操作，通过支持多个类似 802.22<sup>[5]</sup>和 ECMA<sup>[6]</sup>的“白色空间”标准，我们认为网络设备能够正确的发送和解析信号帧。

#### 2.2.2. 加入

WSBN 网关成功的连接一个 WSBN 之后，期望加入 WSBN 的其它邻居可以容易的找到 WSBN，例如 C1、C2 和 C3 三个叶子节点位于备份网络的服务范围中，所以节点能成功的检测到 WSBN 的存在，检索到信号帧之后，三个叶子节点可以决定是否加入 WSBN。叶子节点应提供给 WSBN 网关从备份网络恢

复的认证信息, WSBN 网关会用这些认证信息去过滤那些未经授权的设备的非法网络接入, 当网关接收到合法的加入请求时, 它会发送通告信息给备份服务器。

新加入的 WSBN 节点通过在“白色空间”内进行频谱感知或检测算法来检测到有效的 WSBN, 然而有时候, 由于新加入的 WSBN 节点在服务范围之外或检测到信号较弱, 不能够找到有效的 WSBN。例如节点 C4, 在这种情况下, 新加入的节点 C4 能够广播特定的消息, 叶子节点 C2 能够检索到广播信息而且能够发现新加入的节点正在搜索 C2 节点连接到的 WSBN 网关, 此时 C2 节点会成为根节点, 可以为 WSBN 网关和叶子节点 C4 之间提供互联, 之后 WSBN 网关检索到广播信息后去更新网络拓扑。

### 2.2.3. 迁移

当网络发生故障时, 如图 1 中的断点 B, 此时需要使用 WSBN 备份网络来保证网络连接的连续性, 需要将 C4 的网络迁移至 WSBN, C4 将会发送请求信息给根节点 C2, 此时 C2 根节点会将请求转发到 WSBN 网关, 接着使用 IP 转发或隧道技术以特定格式转发信息至备份服务器。

## 3. 仿真结果及性能分析

我们假设有线接入网络是电缆调制解调器网络, 采用三模块化冗余(TMR)系统模型用如下的公式来计算 WSBN 的可靠性<sup>[7]</sup>, 由于其它类型的有线或无线接入网络有相似的网络组件, 假设应用 TMR 模型, 在网络恢复中可以去解析任何类型的有线或无线接入网络的时延问题。

$$c = \int_0^\infty \int_0^x \frac{dF_R(r)}{dr} \gamma e^{-\gamma x} dr dx = \int_0^\infty e^{-\gamma x} \frac{dF_R(r)}{dr} dx = L_R(\gamma)$$

$$R(t) = e^{-3\lambda_f t} + (3/2) \times c \times (e^{-\lambda_f t} - e^{-3\lambda_f t})$$

(1)

这里  $c$  表示网络第一次失败恢复的概率,  $\lambda_f$  是网络失败的出现比率,  $F_R(r)$  是恢复时间  $R$  的分布率,  $\gamma$  是第一次失败恢复前出现第二次相同失败的比率,  $L_R(r)$  是  $F_R(r)$  的拉普拉斯变换, 计算出信息被转发的分布率  $R(t)$ , 它服从泊松分布。我们从两个方面的指标来估计时延, 恢复所需的时间和转发信息所需的时间。在网络正常的情况下, 考虑到这两个方面, 我们根据公式(2)计算系统中的时延。

$$T_1 = \frac{1}{\mu_{f1} - \lambda_n (1 - R(t))} \quad (2)$$

采用最大的恢复时间上限  $R_{\max} = 3600$  s, 和最小的恢复时间  $R_{\min} = 12$  s 计算恢复时延的均值, 采用一个有界的 Pareto 分布, 可以计算出恢复时间  $T_r$  的均值  $E(T_r)$ :

$$E(T_r) = \frac{q^\varphi}{\left(1 - \left(\frac{q}{p}\right)^\varphi\right)} \left(\frac{\varphi}{\varphi - 1}\right) \left(\frac{1}{q^{\varphi-1}} - \frac{1}{p^{\varphi-1}}\right) \quad (3)$$

这里  $\varphi$  是 1.2, 令  $q = 12$  s 且  $p = 3600$  s, 计算得到期望值  $E(T_r) = 49.0427$ ,  $\mu_{f1} = E(T_r)/3600 = 0.0136$ 。我们根据公式(4)来计算转发信息的时延,

$$T_2 = \frac{1}{\mu_{f2} - \lambda_n (1 - R(t))} \quad (4)$$

采用“白色空间”的链路层处理时间  $T_\beta$  做为 WSBN 的时延, 这个时延是 WIFI 中的 2 倍。由于“白色空间”网络要求频谱感知等额外的过程, 所以假设“白色空间”网络的链路层处理时间比 WIFI 中的要长, 而且考虑到接入失败及网关节点和叶子节点之间的中继失败, 将“白色空间”备份网络的时间设置为最差情况下的 20 s, 令  $q = 5$  s,  $p = 20$  s, 由公式(3)计算得到期望值  $E(T_r) = 8.9623$ ,  $\mu_{f2} = 0.0025$ 。

根据表 1 列出的参数<sup>[8]</sup>, 我们采用 Goel-Okumoto 模型来计算检测到的错误数均值  $m(t)$ , 即  $m(t) = a(1 - e^{-bt})$ , 其中  $a$  是在时间  $t$  内检测到的故障数,  $b$  是每个故障的发生率, 我们可以根据  $m(t)$  计算错误的到达率  $\lambda_f$ , 即  $\lambda_f = 1/m(t)$ , 采用最大似然函数计算得到  $a = 547.5124$ ,  $b = 0.0242$ 。

采用指数分布和威布尔分布作为恢复时间的分

**Table 1. Parameter value of white space backup network**  
**表 1. 白色空间备份网络的参数值**

变量名	变量介绍	单位	数值
$\lambda$	信息到达率	信息数/小时	0.1110
$\gamma$	相似率	无	$10 \times \lambda_f(t)$
$T_\beta$	“白色空间”链路层处理时间	秒	[5 ~ 20]
$\mu_{f1}$	恢复时延 1	秒	0.0136
$\mu_{f2}$	转发时延 2	秒	0.0025

布函数, 在计算  $R(t)$  时, 根据任何一个网络的故障都会影响到其它网络的连续性的假设, 所以本文令  $\gamma = 10 \times \lambda_f(t)^{19}$ 。

使用参数值  $\mu_{f1} = 0.0316$ 、 $\lambda_f(t)$  和  $\lambda_n = 0.1$ , 根据公式 2 计算得到期望时延  $T_1$ , 设恢复时间服从指数分布, 计算出时延基本上分布在  $1.3623 \times 10^{-2}$  h 左右, 在时间  $t$  范围内网络的恢复时延最大为 49 s 左右; 设恢复时间服从威布尔分布, 在时间  $t$  范围内网络的恢复时间仅仅不到 1 s, 如图 2 所示。

使用参数  $\mu_{f2} = 0.0025$ 、 $\lambda_f(t)$  和  $\lambda_n = 0.1$ , 计算得到时延值  $T_2$ , 基本上接近  $2.2489 \times 10^{-3}$  h 左右, 在时间  $t$  范围内达到 8.096 s, 如图 3 所示。

表 2 列出了当  $\lambda_n = 0.1$ 、1 和 10 时, 本文提出的方案和原始切换方案的对比结果, 为了分析恢复时间较长时对转发延迟的影响, 本文将最初设置的允许的最小的恢复时间  $R_{\min} = 12$  s 修改为  $R_{\min} = 120$  s, 计算得到  $\mu_{f1} = 1.004$ 。对比发现, 当  $R_{\min} = 120$  s 时, 本文提出的方案有明显改进。

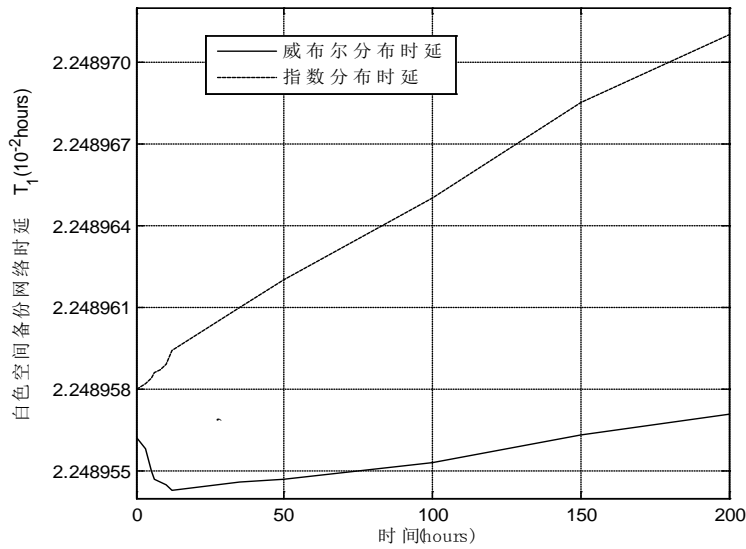


Figure 2. Delay of white space backup network T1  
图 2. 白色空间备份网络时延 T1

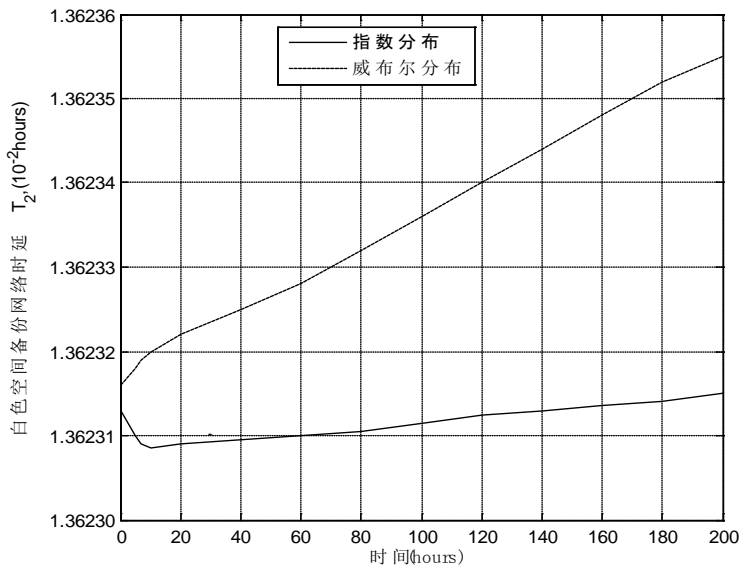
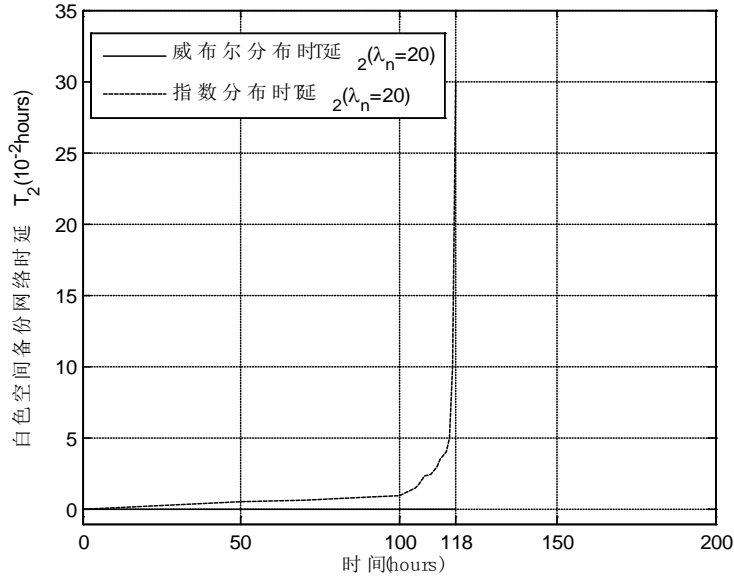


Figure 3. Delay of white space backup network T2  
图 3. 白色空间备份网络时延 T2

**Table 2. Comparison of the two programs using the Weibull distribution**  
**表 2. 采用威布尔分布时两种方案对比**

方案	$R_{min} = 12s$			$R_{min} = 120s$		
	$\lambda_n = 0.1$	1	10	$\lambda_n = 0.1$	1	10
原始方案 $10^{-2}$	1.36	1.36 ~ 1.38	1.36 ~ 1.5	10.04 ~ 10.1	10.2~10.7	12~30
本文方案 $10^{-2}$	2.48	2.48 ~ 2.49	2.49 ~ 2.53	2.489	2.48~2.49	2.49~2.53



**Figure 4. Delay of white space backup network T2 when  $\lambda_n = 20$**   
**图 4. 当  $\lambda_n = 20$  时白色空间备份网络时延 T2**

如图 4 所示，当  $\lambda_n$  较大时，在 WSBN 中进行信息转发会有较大的时延，但是通过在叶子节点或网关节点合并多个或较低优先级的消息，WSBN 能够提高它们处理转发来自 WSBN 节点的信息或业务的容量。当某一服务提供者在网络中出现故障时，所有由此提供者提供服务网络设备都将会中断网络连接，短时间内，这种连接的中断会引起大量的网络故障，因此本文提出的 WSBN 架构建议将由不同服务提供者提供服务的 WSBN 网关和根节点运行在不同的接入网络中。

#### 4. 总结语

本文提出的“白色空间”备份网络作为需要授权的有线或无线接入网络的备份网络架构，在网络设备出现网络连接故障后能够使用 WSBN 去连接到它们的备份服务器，仿真实验结果表明网络设备中断连接时，在时延较小的情况下，设备不需要等待原有接入网络的恢复，采用 WSBN 能够继续转发信息和处理业

务，所以 WSBN 具有一定的实际应用价值。

#### 参考文献 (References)

- [1] 李晓阳 (2012) WiFi 技术及其应用与发展. *信息技术*, **2**, 196-198.
- [2] Yoon, S., Lim, K. and Kim, J. (2010) Cross-layer dynamic spectrum map management framework for white space applications. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, **2010**, Article ID: 870976.
- [3] Gardner, W.A. (1988) Signal interception: A unifying theoretical framework for feature detection. *IEEE Transactions on Communications*, **36**, 897-906.
- [4] Urkowitz, H. (1967) Energy detection of unknown deterministic signals. *Proceedings of the IEEE*, **55**, 523-531.
- [5] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks.
- [6] Wang, J., Song, M.S., Santhiveeran, S., et al. (2010) First cognitive radio networking standard for personal/portable devices in TV white spaces. ECMA White Paper, *IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum*, Singapore City, 6-9 April 2010, 1-12.
- [7] Geist, R., Smotherman, M. and Talley, R. (1990) Modeling recovery time distributions in ultrareliable fault-tolerant systems. *20th International Symposium on Fault-Tolerant Computing, FTCS-20*, Digest of Papers, Newcastle Upon Tyne, 26-28 June 1990, 499-504.
- [8] Sdralia, V., Tzerefos, P. and Smythe, C. (2001) Recovery analy-

- sis of the DOCSIS protocol after service disruption. *IEEE Transactions on Broadcasting*, **47**, 377-385.
- [9] Domdom, R., Espey, B., Goodman, M., Jones, K., Lim, V. and Patek, S. (2000) Transient analysis of DOCSIS 1.1 cable modem networks. 2000 *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, **3**, 2263-2268.