



Y1759645

独创性（或创新性）声明

本人声明所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名: 刘俊洁 日期: 2010.1.10

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密在__年解密后适用本授权书。非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

本人签名: 刘俊洁 日期: 2010.1.10

导师签名: 靳洁 日期: 2010.1.12



多域移动广播组播网络融合技术的研究

摘要

近年来，手机电视业务越来越受到人们的青睐，由于该业务对本来就比较珍贵的无线资源消耗比较大，所以人们在移动蜂窝系统中引入了广播组播的方式来提供这种业务。另外，传统的地面广播网络也在向支持终端移动性方向发展，目前，国内外已经提出了一系列标准来提供基于地面广播网络的手机电视业务。地面广播网络能够以比较高效的方式来提供手机电视业务的传送，但是其并不支持上行信道，不能够满足用户对交互业务的需求，而在移动蜂窝网络中提供手机电视业务的整体代价比较高，因此，研究把移动蜂窝网络与地面广播网络有机结合起来构建多域移动广播组播网络来提供包括手机电视在内的多媒体数据业务具有很高的实用价值。

为了支持手机电视等多媒体数据业务，3GPP 在 Release 6 中提出了多媒体广播组播服务（MBMS）技术，其后为进一步提高 MBMS 的业务性能并适应新的系统架构演进/长期技术演进（SAE/LTE）系统，又提出了 E-MBMS 技术。而欧洲为了利用地面广播网络来提供手机电视业务，在原有 DVB-T 的基础上提出了 DVB-H 技术，这种技术在支持终端移动性、减少终端功耗等方面都有比较高的性能。另外，WLAN 等其他网络技术也可以单播的方式为多媒体数据业务提供支持，本文主要研究以这几种网络为基础的多域广播组播网络融合技术。

本文首先对当前国内外一系列手机电视标准进行了介绍，特别是对我们要研究的 MBMS/E-MBMS 和 DVB-H 标准进行了重点阐述。然后对当前的一些基于移动蜂窝网络和 DVB-H 地面广播网络进行融合的技术进行了研究和分析，并提出了把 E-MBMS 和 DVB-H 进行融合来构建一种混合的广播组播网络的网络架构，其中通过引入 802.21 技术来支持终端在这种混合的广播组播网络以及其它异构网络之间的切换。文章最后对融合网络的网络优化选择策略做了仿真与分析。这里的网络选择算法基本操作步骤是：首先使用 AHP 算法为候选网络的不同属性赋予权值，在使用 AHP 算法时我们考虑到业务类型和终端移动情况对不同属性权值的影响；然后使用 ITOPSIS 算法选择出最优的接入或者切换网络，这里使用的 ITOPSIS 算法可以有效克

服传统 TOPSIS 算法所导致的排序不规则问题；最后结合多域广播组播网络中的几个场景，对 AHP 和 ITOPSIS 相结合的网络选择算法的有效性和实用性进行了验证，从而为融合的多域广播组播网络提供网络选择方面的策略。

关键词：E-MBMS；DVB-H；802.21；广播组播；手机电视

RESEARCH ON NETWORK CONVERGENCE OF MOBILE BROADCAST/MULTICAST SERVICES

ABSTRACT

In recent years, more and more people are interested in mobile TV services. Since mobile TV services would consume huge radio resources, broadcast/multicast technology has been introduced to the mobile system. On one hand, 3GPP has proposed Broadcast/Multicast services(MBMS) technology, and then proposed E-MBMS technology to enhance the capability of MBMS in the System Architecture Evolution/Long Term Evolution(SAE/LTE). On the other hand, traditional terrestrial broadcasting systems has also been evolving to support the mobile terminals, and a series of terrestrial broadcasting standards have been proposed to support mobile TV services. Compared with the mobile system, the terrestrial broadcasting system can support mobile TV services with cheaper price, but it can not provide uplink channel to support interactive services. DVB-H (Digital Video Broadcasting for Handheld) is such a standard developed by the DVB Project for handheld devices, which is based on DVB-T standard for terrestrial reception, but has improved its capabilities in energy consumption, reliable reception and smart display sizes in the mobile environment. WLAN can provide unicast link for mobile TV services and it is one of the supplementary wireless resources for the mobile system to support data services. Thus the integration of mobile system and terrestrial system to support mobile TV service becomes a hot topic to study in the field of network convergence research. Research on network convergence of mobile broadcast/multicast services based on MBMS/E-MBMS, DVB-H and WLAN networks is done in this thesis.

This thesis gave a detailed research on converged network technology to support mobile TV services. Firstly, introduction of different standards that support mobile TV, especially standards focused on MBMS/E-MBMS and DVB-H are presented. Secondly, analysis on different technologies for network convergence with MBMS/E-MBMS, WLAN and DVB-H are given. Thirdly, converged network architecture to integrate E-MBMS, DVB-H, WLAN and other networks is introduced according to IEEE 802.21. In the end, research on converged network selection and handover decision based on Multiple Attribute Decision Making method is presented based on AHP and ITOPSIS, and results on converged network selection policies are shown. That is, for one thing, use AHP method for weight calculation of different kinds of values with consideration of the type of services and the terminal velocity. For another, use ITOPSIS method to select the best network from different candidate networks. Base on above results, we take a simulation in different scenes and verified the effectivity and practicability for network selection and handover decision.

KEY WORDS: E-MBMS, DVB-H, 802.21, Broadcast/Multicast, Mobile TV

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 论文主要研究工作.....	2
1.3 论文的组织结构	2
第二章 移动广播电视的主要技术标准.....	4
2.1 移动广播电视的主要标准分类	4
2.1.1 按照国家对技术进行分类	4
2.1.2 按照承载方式对技术进行分类.....	5
2.2 移动广播电视主要技术标准简介	5
2.2.1 DVB-H 技术标准:	6
2.2.2 ISDB-T 技术标准:	7
2.2.3 CMMB 技术标准:	7
2.2.4 T-MMB 技术标准:	8
2.2.5 CDMB 技术标准:	9
2.2.6 MediaFLO 技术标准:	9
2.2.7 T-DMB 技术标准:	10
2.2.8 DTMB 技术标准:	11
2.2.9 MBMS/E-MBMS 技术标准	11
2.2.9.1 MBMS 技术标准	11
2.2.9.2 E-MBMS 技术标准.....	13
2.2.10 BCMCS 技术标准	14
2.3 本章小结	15
第三章 移动蜂窝系统与地面广播系统融合方案研究.....	16
3.1 移动蜂窝网络和地面广播网络融合技术的研究	16
3.1.1 从松/紧耦合的组网模式分类	17
3.1.2 从 NGN 组网的不同层面上划分	20
3.1.2.1 从业务层面划分	20
3.1.2.2 从控制层面划分	24
3.1.2.3 从承载层面划分	24
3.1.2.4 从接入层面划分	26
3.2 MBMS/E-MBMS 与 DVB-H 的融合网络技术研究.....	28
3.2.1 IEEE 802.21 技术	29
3.2.2 E-MBMS 中的 MCE 逻辑实体	31
3.2.3 多域广播组播网络融合架构	32
3.3 本章小结	35
第四章 多域广播组播网络中的网络选择策略研究.....	36
4.1 异构网络中的切换判决算法	36
4.1.1 切换管理过程.....	36
4.1.2 基于 MADM 的网络选择	37
4.1.3 AHP 算法	38

4.1.4 MADM 中网络排序算法	41
4.2 多域广播组播网络中的混合 AHP 和 ITOPSIS 网络选择模型.....	45
4.2.1 网络选择属性权值的确定	46
4.2.1.1 非交互性业务	46
4.2.1.2 交互性业务	48
4.2.2 基于终端移动速度的权值	49
4.2.3 使用 ITOPSIS 算法进行最优网络的选择.....	51
4.3 AHP 和 ITOPSIS 应用于多域广播组播网络选择.....	51
4.3.1 场景一：存在两个候选网络时的室内环境	51
4.3.2 场景二：存在两个候选网络时的步行环境	53
4.3.3 场景三：存在三个候选网络时的车载环境	53
4.3.4 本章小结	55
第五章 总结与展望	56
5.1 本文所做研究工作总结	56
5.2 未来的工作展望	56
参考文献	58
致 谢	63
攻读硕士学位期间发表的论文目录	64

第一章 绪论

本章首先介绍了支持手机电视业务的移动蜂窝网络和地面广播网络以及对这两种网络进行融合研究的背景和现实意义，然后说明了论文研究的目标和当前的工作，最后给出了论文的研究内容及其组织结构。

1.1 课题研究背景

移动通信技术的快速发展深刻改变了人们的生活方式和思维方式，人们现在已经习惯于使用移动终端来进行通信、下载和网上冲浪等各种活动，更希望移动终端可以支持包括手机电视在内的更多功能。

移动广播组播网络可以提供手机电视服务，手机电视从本质上讲就是把数字广播电视应用于移动终端，它把电视和手机这两个极具价值的概念结合在了一起。对于手机用户来说，以后除了用手机进行通信，比较有吸引力的地方还在于可以进行娱乐，如在手机上实时收看新闻事件、天气预报、教育频道和足球比赛等电视频道的节目。目前大部分人都有看电视的习惯，而且手机的普及率也是相当高，把数字广播电视应用于手机终端无疑会有很高的实用价值和市场潜力。

但是由于这种业务对本来就比较珍贵的无线资源消耗比较大，所以人们在蜂窝系统中引入了广播/组播的方式来提供手机电视业务。另外，传统的地面广播系统也在向支持终端移动性方面发展，国内外都提出了一系列标准来提供基于地面广播网络的手机电视业务。地面广播网络能够以比较高效廉价的方式提供多媒体业务的下发，但是其并不支持上行信道，不能够满足用户对交互业务的需求，而在蜂窝网络中提供多媒体业务的整体代价比较高，因此，研究把蜂窝网络与地面移动广播网络有机结合起来具有很高的现实意义。

表1-1 地面广播网络技术和移动蜂窝网络技术比较

技术分类 技术特征	地面广 播技术	蜂窝广播 与组播技术
覆盖范围	大	小
传输信道	下行	上/下行
用户标识	无	有
切换方式	频率调谐	小区切换
业务交互性	不提供	提供
成本	较低	较高

以传统地面大基站作为承载的移动数字广播电视技术和以移动蜂窝网为基础的广播组播网络技术都可以提供手机电视业务,但他们在各方面特点有所不同,现将其主要区别进行比较,见表1-1所示。

地面广播网络具有受众人数多、业务内容确定、通常不提供下行信道、业务提供经济、网络资源充足、不考虑用户人数、业务接收者无反馈信息、通过频率调谐支持移动性等特点,而移动蜂窝网络可以支持单播、多播、广播等方式,具有网络资源紧张、提供广播业务的成本比广播高、有上行信道资源、考虑用户人数和容量、支持用户漫游等特点。

综上所述,无论地面广播网络还是移动蜂窝网络在提供移动广播电视业务时都有各自的局限性,因此有必要对两者进行融合,融合后的网络既可以更有效地利用本网络的优势,优化使用网络资源,又可以提供更丰富的移动广播组播多媒体业务,而针对未来的网络如何进行融合是我们重点需要研究的内容。

1.2 论文主要研究工作

本文首先研究了各种支持手机电视业务的地面广播技术标准和移动蜂窝广播组播技术标准,并把重点放在 MBMS/E-MBMS 和 DVB-H 的研究上。文章在跟踪研究各种针对于移动蜂窝网络和地面广播网络进行融合技术的基础上,提出了以移动蜂窝系统中 MBMS/E-MBMS 为主体,把 DVB-H 与其他接入网络作为移动蜂窝系统的无线网络资源,通过紧耦合的网络融合架构,在该网络架构中增加对 802.21 技术的支持,来支持终端在这种异构广播组播和其他网络之间进行灵活地切换。最后针对 MBMS 和 DVB-H 和 WLAN 构建了一个简单的融合网络,并针对用户在这种融合的广播组播网络中的网络优化选择和切换问题进行了建模和仿真研究。

1.3 论文的组织结构

论文的组织结构如下:

第一章是绪论部分,主要介绍了移动蜂窝网络系统和地面广播网络系统融合研究的背景和本课题研究的意义;第二章系统地介绍了当前各种支持手机电视的移动蜂窝系统和地面广播系统标准,分析了国内外各种标准特别是 MBMS/E-MBMS 和 DVB-H 的主要技术特点。第三章针对移动蜂窝系统和地面广播系统已有的融合技术进行了研究和分析,并提出针对未来移动广播组播网络的融合方案。该方案提出以 E-MBMS 技术为基础,把 DVB-H 和其他接入网络

作为它的一个无线网络资源来使用，并引入了 802.21 技术来支持终端的切换。第四章通过由 E-MBMS、DVB-H 和 WLAN 组成的混合广播组播网络模型，针对这种混合网络提出基于 MADM 的网络选择策略，也就是把 AHP 和 ITOPSIS 算法相结合，同时考虑到不同业务类型和终端移动速度的影响，在多个候选网络中选出最优的网络，为多域移动广播组播网络中的接入和切换判决提供策略支持。第五章对论文的研究工作做了总结，并对下一步的研究工作做了展望。

第二章 移动广播电视的主要技术标准

本章主要对移动蜂窝系统中的广播组播技术标准以及支持终端移动接收的地面广播电视技术标准中的关键技术进行了介绍。

2.1 移动广播电视的主要标准分类

由于移动数字广播电视具有很高的市场价值与发展潜力，因此，世界上很多国家和地区都参与了相关标准的制定和实施，形成了种类繁多的移动广播电视技术标准。

2.1.1 按照国家对技术进行分类

这些移动广播电视标准如果从所属的国家进行分类，可以划分为国外和国内标准，图2-1列出了目前国内外针对移动数字广播电视制定的几个主要技术标准。

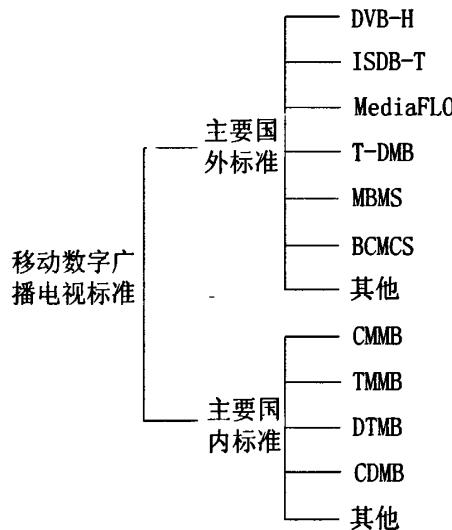


图 2-1 按照国内外对移动广播电视标准的分类

其中DVB-H由ETSI制定，并在欧洲、美国、澳大利亚和亚洲的一部分国家得到了采纳；ISDB-T由日本放送协会制定，在日本和巴西得到采用；MediaFLO是美国高通公司提出来的标准，目前被美国和中国台湾等国家和地区采纳；T-DMB是由韩国制定，在韩国得到了商用。对于我国来说，过去我们在数字音频、数字有线广播系统和数字卫星直播系统方面分别采纳了欧洲的DAB、DVB-C和DVB-S标准，为了使我国的移动数字广播电视也具有自主知识产权的标准，国

内各标准化组织和研究机构推出了一些国内标准，这些标准主要有CMMB、TMMB、DTMB以及ATDB-T等。

2.1.2 按照承载方式对技术进行分类

如果按照支持移动广播电视业务的承载网络分类，标准又可以分成两类，一类是使用传统的广播承载方式，即地面大基站或者卫星支持移动广播电视业务；另一种是使用当前的蜂窝网络来进行移动数字广播电视的数据传输。图2-2列出了按照这两种承载方式进行分类的技术标准。由图2-2可见，对于移动数字广播电视来说，大部分是采用地面大基站或者卫星进行承载的，例如DVB-H、ISDB-T、MediaFLO、T-DMB等主要采用能覆盖几十公里的地面大基站进行地面数字电视广播信号的发送；CMMB结合了直放卫星和地面大基站的承载方式；另外，3GPP和3GPP2分别提出了MBMS和BCMCS，通过蜂窝网络支持移动广播组播业务。

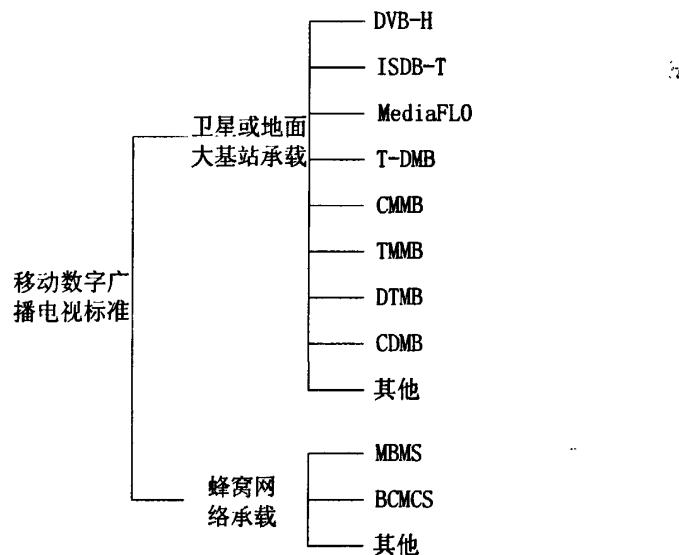


图2-2 按照承载方式对移动广播电视标准的分类

2.2 移动广播电视主要技术标准简介

在本节我们将对支持手机电视等数字多媒体业务的几种主要技术标准进行介绍。

2.2.1 DVB-H 技术标准:

DVB-H^[1] (Digital Video Broadcasting-handheld, 手持设备数字电视广播)是基于DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial, 地面数字电视广播)传输系统，通过引入新的技术从而使手持终端更有效地接收数字电视信号。DVB-T获得ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准化委员会)的认可并于1997年发布，是欧洲地面数字电视广播标准，不适合移动终端通过地面数字电视广播网络接收数字电视节目。2002年前后开始研究的DVB-H标准于2004年12月正式成为ETSI批准。与DVB-T相比，DVB-H终端具有更低的功耗、更优越的移动接收和抗干扰性能，因此该标准适用于手机等移动终端通过地面数字电视广播网络接收数字电视信号。由于DVB-H是开放的标准，得到了很多厂商的支持，因此目前DVB-H是国际上商用化程度较高的标准。

DVB-H基于DVB-T技术，把经过压缩的音频和视频流以及数据复用为MPEG-2传输流，然后对MPEG-2基本数据流进行扰码、信道编码、交织、映射、OFDM调制并最终经过射频调制发送出去。

为了支持终端的移动性，DVB-H在物理层和链路层增加了一些新的功能，包括时间分片、MPE-FEC (Multi-Protocol Encapsulation-forward Error Correction, 多协议封装-前向纠错校验)、4K模式和传输参数信令等^{[1][2]}。

(1) 时间分片技术实际上是基于时分复用，以非常高的速率在全部带宽内以突发的方式传送一个业务的数据发送模式，在发送的业务数据块中同时包含了下一个业务的发送时间。接收端只需要根据在上一个业务数据块中所获得的时间信息在相应的时间间隔内接收数据，而在其他时间内可以进入睡眠模式以便省电，从而降低终端的功率消耗。使用时间分片也支持接收端在空闲时间内检测邻居小区的参数，并且在空闲接收时间内能够进行无缝平滑切换。

(2) MPE技术是DVB-T中为了复用IP组播数据流定义的，可以有效地融合IP网络。MPE-FEC是在DVB-H中增加的针对MPE的前向纠错技术，可以有效地提高移动信道中的C/N、抗多普勒频移以及抗脉冲干扰能力。

(3) 在DVB-T中针对子载波的数目设置了2K与8K模式，其中8K模式可以更好地对抗多径干扰，比较适合于部署中等和偏大的单频网络，但只能支持终端在一般高速移动下的接收；而2K模式只能适合于构建中等或者较小的单频网络，但对抗多普勒频移方面更有效，从而可以支持终端在极高移动速度下的接收。在DVB-H中通过引入4K模式，可以在构建网络的覆盖范围和移动接收方面取得某种程度的折衷，从而在部署网络方面取得更好的灵活性。

(4) 对于2K模式来说，可以在4个OFDM符号上进行交织，而对于4K模式，可以在2个OFDM符号上交织。由于8K模式的符号长度相对较长，不做深度符号交织。通过采用深度交织，可以更有效地改善系统在快速移动和强突发干扰环境下的系统性能。

(5)DVB-H在DVB-T的物理层基础上增加了新的TPS(Transmission Parameters Signalling, 传输参数信令)，可以携带4K模式、符号交织深度和小区标识等信息。TPS具有良好的鲁棒性，即使在低C/N的条件下，用户终端仍能快速获得定时和业务参数等信息。

2.2.2 ISDB-T 技术标准:

ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial, 地面综合业务数字广播) 是由日本NHK (Nippon Hōsō Kyōkai, 日本放送协会) 主导并针对地面数字广播提出的技术标准，它可以有效地复用各种数字内容，包括HDTV、SDTV、声音、图像、文本等，可以应用于各种数字音频广播和多媒体广播中。2003年12月日本采用ISDB-T标准的商用地面数字电视广播正式运营^[3]。

ISDB-T所用带宽为UHF470MHz-770MHz，总频带达300MHz，共有50个频道，其中每个频道带宽6MHz，在每个频道内，430KHz是保护带宽，另外5.572MHz是有效频带。

ISDB-T不限于单独传输数字电视（图像和伴音），也包括了独立的声音和数据广播，几种业务可以单独存在或任意的组合，构成在带宽6MHz内的一路节目或多路节目。每个数据段可以按照电视、声音、数据的不同需求，独立地指定其载波调制方式、内码编码效率、保护间隔比和交织深度等，因此ISDB-T在频道的使用方面更灵活。

ISDB-T基于MPEG-2完成传送信号的复用。每一个物理通道（6 MHz）为一个TS流，13个OFDM段可构成具有统一参数的块，也可以分为具有不同参数的几个块层，最多为3个块层；接收时可对13段OFDM整体接收，也可只接收13段OFDM中的一段OFDM，支持ISDB-T的终端可以采用只接受几段OFDM符号，这样能够节省功耗。

2.2.3 CMMB 技术标准:

CMMB (China Mobile Multimedia Broadcastin, 中国移动多媒体广播) 是由国家广播电影电视总局于2006年10月颁布的具有自主知识产权的数字广播电视

标准，可以向手机、MP4等移动终端提供数字广播电视节目、综合信息和紧急广播服务，实现卫星传输与地面网络结合的无缝协同覆盖^{[4][5][6][7]}。

CMMB定义了在30MHz-3 000MHz频率范围内的移动多媒体广播系统，可以支持通过卫星和/或地面无线发射电视、广播、数据信息等多媒体信号的广播。它采用“天地一体”的技术体系，信道传输采用StMi（Satellite and Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure，卫星与地面交互多服务架构）技术，利用大功率S波段卫星对全国实现覆盖、卫星遮挡地区采取地面同频增补方式，城市人口密集区域采用U波段增补；地方节目采用U波段地面网络实现覆盖，利用地面覆盖网络进行城市人口密集区域有效覆盖、利用双向回传通道实现交互，形成单向广播和双向互动相结合、中央和地方相结合的覆盖方式。

CMMB的广播信道物理层带宽B_r包括8MHz和2MHz两种，广播信道物理层以物理层逻辑信道的形式向上层业务提供传输速率可配置的传输通道，同时提供一路或多路独立的广播信道，物理层逻辑信道支持包括RS（Reed-Solomon，里德-所罗门）码、LDPC（Low-density Parity-check，低密度校验）码等多种编码方式，经比特交织后通过BPSK、QPSK或16QAM等方式调制，然后基于OFDM方式成帧发送，以满足不同业务、不同传输环境对信号质量的不同要求。广播信道物理层支持单频网和多频网两种组网方式，可以根据应用业务的特性和组网环境选择不同的传输模式和参数，物理层支持多业务的混合模式，达到业务特性和传输模式的匹配。

在CMMB中，电视业务视频压缩编码采用AVS（Advanced Audio Video coding Standard，高级音视频编码标准）、H.264/AVC，伴音压缩编码采用MPEG-4 和AAC（Advanced Audio Coding，高级音频编码技术）；广播业务音频压缩编码采用DRA（Apparatus and Methods for Multichannel digital audio coding，多声道数字音频编解码技术）。数据广播采用可扩展的多协议封装复用传输，支持流模式和文件模式传输。加密授权系统对音视频流和数据广播流采用ISMACryp（ISMA Encryption and Authentication specification，ISMA加密授权规范）加扰，系统前端支持同密，终端采用多密，系统支持单向、双向和基于电子钱包的授权管理方式。

2.2.4 T-MMB 技术标准：

T-MMB（Mobile TV/Mobile Multimedia Broad-casting，手机电视/移动多媒体广播）于2008年6月被审定为中国通信标准化协会的手机电视/移动多媒体国家标准的技术方案。

T-MMB标准^[8]规定了30MHz~3 000MHz频率范围内的手机电视/移动多媒体广播系统广播信道物理层的技术方案，包括信号帧结构、信道编码、调制技术和射频特性的技术要求，并给出了系统净荷数据率，本标准定义的帧结构与GY/T 214-2006标准(30MHz~3 000MHz地面数字音频广播系统技术规范)中定义的帧结构兼容，射频特性与GY/T 214-2006标准中定义的相同。T-MMB适用于无线广播系统，可以支持音频、视频、数据等多媒体信息的传输，支持固定接收和移动接收。根据业务和组网要求，广播信道物理层有四种传输模式可供选择，支持高阶调制方式，信道纠错编码采用删余卷积编码和低密度奇偶校验(LDPC)码。广播信道物理层支持固定接收和移动接收，并支持SFN (Single Frequency Network，单频网) 和MFN (Multiple Frequency Network，多频网) 两种组网模式。T-MMB基于DAB (Digital Audio Broadcasting，数字音频广播) 技术，增加了对音频业务的支持，与其他同样基于DAB技术的标准，如韩国标准T-DMB和英国标准DAB-IP具有兼容性。在信道编码中引入了LDPC技术，与传统DAB系列标准采用的卷积编码方式相比，性能有了一定的提高。另外，在帧结构上，T-MMB的OFDM传输帧主要由同步信道、快速信息信道和主营业务信道三部分组成，其中同步信道用于时频同步，快速信息信道未经过交织，用来指示后面业务数据的配置信息，终端可以对其进行快速解码，主营业务信道用来承载业务数据。

2.2.5 CDMB 技术标准：

CDMB (China Digital Multimedia Broadcasting，中国移动多媒体广播)是中国标准化协会于2007年5月正式发布的拥有自主知识产权的手机电视标准。CDMB在DAB系统的基础上，增加了支持视频业务的模块，其中视频业务编码部分采用具有自主知识产权的AVS标准，音频编码部分采用BSAC(Bit Sliced Arithmetic Coding，比特分片算数编码)或DRA，与视频内容有关的交互场景数据采用BIFS (Binary Format for Scenes，二进制场景格式)；在业务复用方面，定义了FIAVS(Fast Information Aided Video Stream，快速信息辅助视频流)方式作为可选方式之一，充分利用了DAB系统的快速辅助信道；另外，在信道编码方面，考虑使用纠错性能优异的Turbo码^[9]。

2.2.6 MediaFLO 技术标准：

MediaFLO(Forward Link Only,前向链路广播)是高通公司提出的用于向手持终端提供移动电视服务的技术^[10]，支持的广播数据既包括实时的音频和视频流，

也包括针对特定用户的非实时音视频片段，还包括因特网中广播服务所能提供的一些数据业务。

目前美国为MediaFLO分配的频带为716-722MHz，MediaFLO也可以支持L频段以及UHF频段。由于MediaFLO未考虑与其他技术的继承性，完全是独立设计，所以很容易地引入了一些新的技术，如前向纠错采用RS+Turbo编码，通过引入MLC（Multicast Logical Channels，组播逻辑信道），不同的MLC可以采用不同的编解码方式，每一个业务的不同组成部分如音频、视频、数据或者参考信号可以在不同的MLC上进行传送，终端只需要对特定的一些MLC进行解码；在物理层，可以针对某些OFDM符号中的特定一部分子载波进行解码，既增加了灵活性，又可以获得比较好的节电效果；通过使用分层调制，在发端分开发送基本流和增强流，用户可以选择只接收基本流或同时接收两种数据流来获取不同级别的服务。

2.2.7 T-DMB 技术标准：

T-DMB 技术^[11] (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting, 地面数字多媒体广播)是韩国在欧洲DAB Eureka-147的基础上进一步开发并于2003年发布的移动数字广播电视标准，除了兼容原有的DAB技术，还增加了相应功能模块，用以支持视频业务，并可支持移动设备的接收。

业务 和 复 用 配 置 信 息	透 传 数 据 信 道	双 信 道	多 信 道	自 动 标 签 服 务	透 传 数 据 信 道	多 媒 体 传 输	IP 隧 道	透 传 数 据 信 道	AVC视频编 码/BSAC伴 音编码	BIFS 交 互 信 息		
		音 频	节目 关 联 数 据		非节目 关 联 数 据		MPEG-4同步流封装			MPEG-2传输流复用		
	快速信道 数据信道	音频业务			数据业务			视频业务				
快速信道	主服务信道					Eureka-147						

图2-3 T-DMB协议栈结构

T-DMB可以沿用DAB Eureka原有频段以及相应的物理层技术，支持把6MHz带宽进一步分为3段进行更灵活的数据传输。另外，为了支持视频节目，增加了关于视频服务的模块部分，如图2-3所示阴影部分为增加的模块，在视频编码器中，视频压缩采用MPEG-4 AVC/H.264，节目伴音压缩使用BSAC，数据交互使

用BIFS，然后使用MPEG-4 SL数据包格式对视频、伴音以及交互数据进行封装，进而把同步包复用到MPEG-2 TS 传输流中，再进行前向纠错，最后以流模式复用到DAB系统中。可以看出，T-DMB 系统中仍延用了DAB的整个系统，只是在DAB的MSC（主营业务信道）中划分出一个独立的子信道用于视频业务。

2.2.8 DTMB 技术标准：

DTMB（Digital Terrestrial Multimedia Broadcast，数字地面多媒体广播）是由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会于2006年8月发布的强制性国家标准GB20600—2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》^[12]，适用于固定和移动两种数字电视接收模式。

DTMB规定了在UHF和VHF频段中，每8MHz数字电视频带内，数字电视地面广播传输系统信号的帧结构、信道编码和调制方式，适用于地面传输的数字多路电视/高清晰度电视固定和移动广播业务的帧结构、信道编码和调制系统。DTMB以TDS-OFDM技术为核心，把PN序列放在OFDM保护间隔中，既能实现快速同步和高效信道估计，又作为OFDM保护间隔，与使用OFDM子载波进行帧同步和信道估计的DVB-T相比，提高了频谱效率；信道纠错编码采用LDPC+BCH技术，性能接近香农极限，可以提高系统在抗干扰和接收等方面的性能；另外，DTMB采用了分级帧结构，其中最小帧长度为500微秒，最小帧可以组成125毫秒的超帧，超帧可以组合为分帧，并进一步组合成日帧。每个最小帧都有地址信息，任何一天里的任何500微秒的最小帧信息都可以被分割出来，分别加以存储和传输。

2.2.9 MBMS/E-MBMS 技术标准

2.2.9.1 MBMS 技术标准

3GPP 在 Release 6 中提出了多媒体广播/组播服务（MBMS，Multimedia Broadcast Multicast Service），用以共享网络资源，提高空口资源的利用效率。所谓广播组播也就是可以由一个数据源向多个用户发送数据的点到多点的业务传送方式，比如天气预报、紧急通告、体育短片等都可以通过广播组播的方式来达到高效的传输^[13]。

MBMS 提供的业务包括组播业务和广播业务，其中组播业务需要 UE（终端）向 BM-SC（广播/组播服务中心）注册并请求激活某项组播业务，当用户数比较

少时，可以使用点到点的无线承载方式来发送相应的业务，这样可以保证用户接收的质量。而对于广播业务，UE 只需要本地激活就可以了，不需要注册等信令交互过程，实施容易并且减轻了网络负担，但这种方式不保证用户接收的可靠性。为了在 3G 网络中提供由一个数据源向多个用户发送数据的点到多点业务，MBMS 针对 3G 网络做出了一些改进，它通过增加一个新的功能实体 BM-SC（广播/组播服务中心）来提供对 MBMS 业务的支持；另外，对于现有网络中已有的某些功能实体（比如 RNC、SGSN 和 GGSN 等）也做出了一些改进来支持 MBMS 信令交互与数据传输。

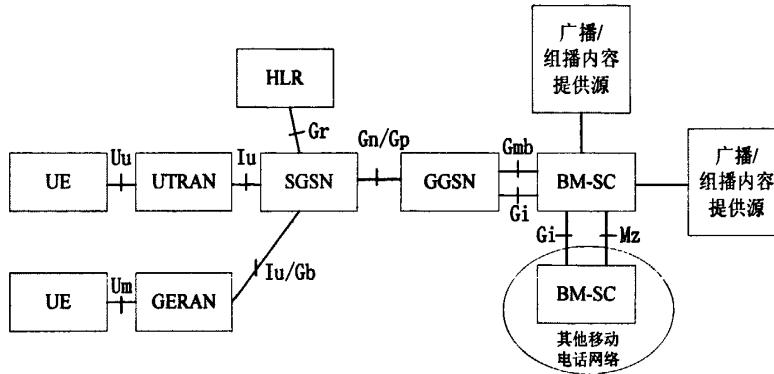


图 2-4 MBMS 的功能实体结构

如图 2-4 是 MBMS 的功能实体结构图，其中 BM-SC 是主要的功能实体。一方面，BM-SC 具有 MBMS 内容提供源的入口，用来对外部内容提供方进行认证，并获取相应的 MBMS 内容，然后进行格式转换、加密等处理。另一方面，BM-SC 作为 MBMS 的核心功能实体，还可以提供包括会话、信息存储、业务声明、代理转发和安全等功能。其中会话功能主要负责发起、维护和终止 MBMS 会话；信息存储功能用来存储用户的订阅信息和计费信息等；业务声明功能负责向 UE 提供 MBMS 业务信息，包括媒体描述（如：视频和音频类型）以及会话描述（如：业务表示、覆盖小区标示、播放时间区间）；代理转发涉及 MBMS 相关信令的交互以及业务数据的下发；安全功能主要是为 MBMS 业务数据提供完整性和私密性的保护。为了提供 MBMS 业务，针对 BM-SC 还专门定义了与其他功能实体间的接口。BM-SC 和 GGSN 之间通过 Gi 和 Gmb 两个接口相连，其中 Gi 接口用于数据传输，Gmb 接口用于 BM-SC 和 GGSN 之间信令交互。BM-SC 与 BM-SC 之间也通过两个接口相连，分别是 Gi 和 Mz 接口，其中 Gi 接口用于数据传输，Mz 支持不同 BM-SC 之间的信令交互，为 MBMS 业务提供跨 BM-SC 漫游的能力。

2.2.9.2 E-MBMS 技术标准

E-MBMS^[14]是演进的 MBMS，如图 2-5 所示为 E-MBMS 的逻辑架构，在核心网中，原来 MBMS 的 BM-SC 改变为 eBMSC，eBMSC 除了具有 BM-SC 的功能外，还能够针对业务特性和用户数量等因素，在使用 MBMS 多播和单播承载之间进行选择。在 LTE 中，E-MBMS 网关是由控制平面和用户平面组成，其中控制平面与 eBMSC 和移动管理实体 MME 分别通过 SGmb 接口和 Sm 接口建立了连接，用于 eBMSC 与用户之间控制信令的转发。而 E-MBMS 网关用户平面一方面通过 SGimb 接口接收来自 eBMSC 的业务数据，另一方面通过 M1 接口以 IP 组播的方式直接下发到 eNodeB。

在接入网中，E-MBMS 引入了 MBSFN 这种 SFN（单频网）的传输方式，在 MBSFN 中，多个小区的基站使用相同的频率、扰码和调制方式来同步发送相同的 MBMS 数据内容，这样可以节约频率资源，提高频谱利用率，并且终端可以充分利用从不同小区接收到的信号进行分集接收，大大增加接收可靠性；另外终端在一个 BMSFN 区域内进行移动时，就像是在一个小区内进行移动，不需要考虑漫游问题，不需执行切换过程，用户体验可以提升。为了对 MBSFN 方式下多小区 MBMS 的传输进行协调，包括对传输数据在无线接口的物理层进行合并处理，以及对用户 UE 在单频网内进行移动的管理协调处理等，E-MBMS 体系结构中定义了 MCE（多小区组播协调实体），它是一个逻辑的实体，用于针对多小区内构建单频网络并进行无线资源的配置，包括对时间和频率等资源的分配，以及调制和编码方式的确定。MCE 作为逻辑的实体，可以单独实现，也可以分布在不同的 eNodeB 中来实现。MBMS GW（MBMS 网关）也是一个逻辑实体，负责向 SFN 中的每个 eNodeB 通过 M1 接口采用组播方式来发送 MBMS 用户数据。MCE 可以通过 M2 接口向 eNBs 传输无线配置信息以及 MBMS 会话的建立与释放，MCE 和 MME 之间的 M3 接口主要进行控制信令的传输^[15]。

MBSFN 模式下，MBMS 业务仅采用 P-T-M（点对多点）方式进行承载，用于 MBMS 传输的逻辑信道 MCCH（组播控制信道）和 MTCH（组播传输信道）映射到传输信道 MCH（组播信道），另外，为了支持多小区合并构建单频网络，需要保证各小区数据传输的同步性，这样增加了 SYNC 协议层以保证各 eNodeB 在业务发送时间上的绝对一致。

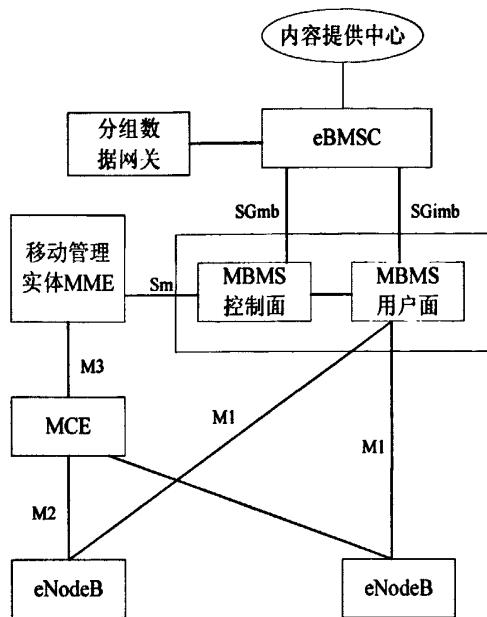


图 2-5 E-MBMS 逻辑实体

2.2.10 BCMCS 技术标准

BCMCS (Broadcast and Multicast Services, 广播组播服务)由3GPP2提出，用于在CDMA2000网络中提供广播和组播服务。BCMCS的技术标准可以分为两类：即黄金组播和白金组播。其中黄金组播的标准于2004年发布，白金组播的标准于2006年2月颁布，白金组播和黄金组播的主要区别在于物理层采用OFDM技术，而不是CDMA技术，因此白金组播比黄金组播具有更好的物理传输特性。

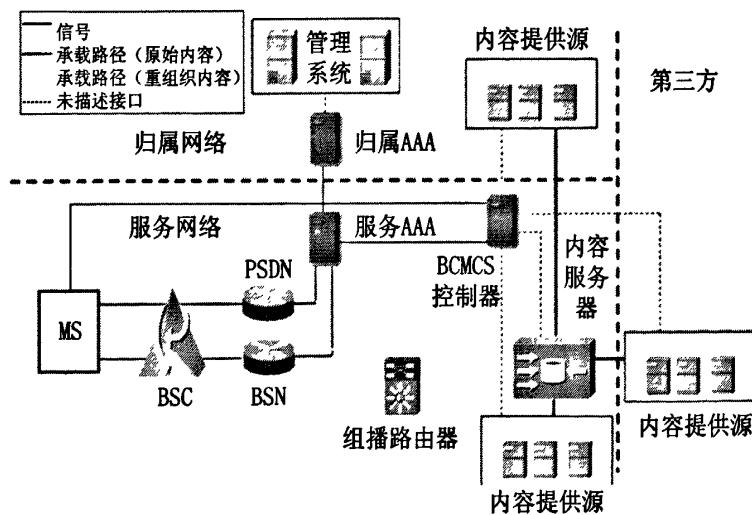


图 2-6 BCMCS 的参考模型

BCMCS是基于CDMA2000的分组网（分组服务节点PDSN），为了支持广播组播功能，增加了一些新的模块并定义了不同模块间的接口，新添的模块包括BSN（BCMCS Serving Node，BCMCS服务节点）、BCMCS控制器、BCMCS内容提供源、MR（Multicast Router，组播路由器）等^{[16][17]}，BCMCS的网络参考模型如图2-6所示。从图中可以看到，BCMCS控制器和BSN是BCMCS网络架构中最核心的部件，BCMCS控制器负责广播组播会话的管理，它与多数其他网络实体存在接口。其他网络实体都需要从BCMCS控制器来获取相关的会话信息；BSN与BSC进行通信，增加或者删除一个多播服务IP流，BSN将来自BCMCS控制器的流处理机制应用于多播IP流，并使用多播IP协议管理和它相邻路由器之间的承载。BCMCS内容服务器把由BCMCS内容提供源获取的内容转变为IP组播流，并在需要的时候，重组格式流和进行高层加密；组播路由器用于对组播组进行管理；AAA服务器负责BCMCS的鉴权、授权与计费，并为BCMCS控制器提供用户业务订阅方面的信息。

为了提供对广播/组播的支持，3GPP2除了在网络架构方面增加相应的模块，定义与CDMA2000网络完全兼容的参考模型之外，还针对广播/组播业务的特点，对原有空口技术进行了适当的修改，如在差错控制技术、信道分配方案、接收技术等方面进行了增强。由于BCMCS所提供的广播/组播业务只提供下行信道，不可能采用基于用户的ARQ差错控制技术，为了保证绝大多数用户获取足够的服务质量，BCMCS采用了RS+Turbo级联编码。在信道分配方面，BCMCS通过对交织、复用和突发长度3个参数的设置灵活地给各个业务提供不同的承载带宽。此外，BCMCS为了提高小区边缘用户的接收性能，也采用了多天线分集接收技术和软合并技术。

2.3 本章小结

本章对能够支持手机电视业务的各种技术标准从整体上进行了分类归纳，然后对这些标准中的关键技术进行了简单介绍，其中移动蜂窝系统中的MBMS/E-MBMS 技术和地面广播系统中的 DVB-H 技术是我们重点需要研究的对象。在下一章中，我们将对移动蜂窝系统和地面广播系统中网络融合的技术研究现状进行研究和分析，并提出基于 E-MBMS 的混合广播组播网络融合技术架构。

第三章 移动蜂窝系统与地面广播系统融合方案研究

本章首先对已有的移动蜂窝网络与地面广播网络的融合技术进行了详细的介绍，并针对这些网络融合技术进行了分析与总结，然后介绍了IEEE 802.21中的关键技术，并将其应用于E-MBMS、DVB-H等异构网络组成的多域移动广播组播网络中。

3.1 移动蜂窝网络和地面广播网络融合技术的研究

在目前广播网络与各种网络的融合研究中，经常会采用混合网络（Hybrid Network）的方式进行组网。混合网络通常主要是指两个或多个独立的通信网络的结合，目前，混合网络多指DVB网络与交互式通信网络（例如GPRS/ UMTS）之间的混合^[18]，可以用下图3-1的概念结构来描述。

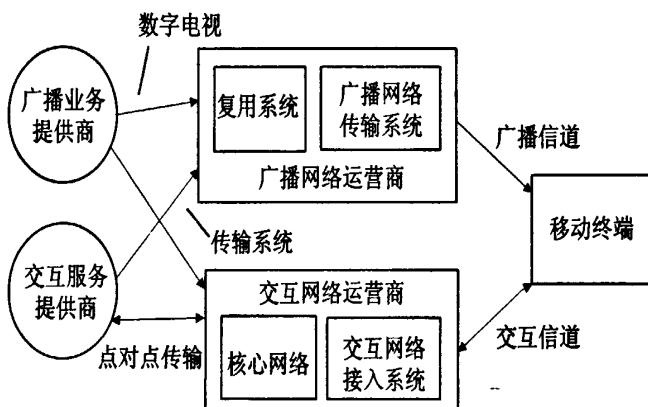


图3-1 混合网络的概念结构

由于广播网络具有传输确定数据给大量用户、不具有回程信道来提供与服务提供商的交互信息等特点，而交互性通信网络具有回程信道，但通信网络只能提供相对低速的下行数据传输速率，因此，可以通过不同的策略得到一个效率更高的混合网络，混合组网时的不同策略实际上即为融合的方式。ETSI定义的交互式网络的通用参考模型^[19]，同时采用蜂窝网络、卫星网络、LMDS/MMDS（混合型无线宽带接入）、CATV等多种方式作为DVB网络的交互信道，实际上就是混合网络的几种典型融合应用方式。

近年来，人们对地面广播网络与移动蜂窝网络的融合技术做了大量的研究，并提出了不少解决方案，这些解决方案所设计的融合方式比较繁杂，但是，仍然可以从不同的角度对它们进行分类研究。如果从两个网络融合工作的紧密程度划

分，可以分为紧耦合方式和松耦合方式两大类；从下一代网络组网的垂直方向上看，可以从业务、控制、承载和接入层面上对各种融合方案进行分类。以下分别就上述两种分类方式，对目前通过网络融合支持移动数字多媒体业务的研究进行综述和分析。

3.1.1 从松/紧耦合的组网模式分类

紧耦合与松耦合主要从异构网络融合后的紧密程度来划分的。其中，在松耦合组网方式中，异构网络的系统结构相对独立，功能上相互补充，经融合后的网络一般只在授权、计费以及承载网络等方面的融合。而紧耦合一般在控制平面和用户平面同时进行融合，融合后的混合网络结构紧密。如果融合系统中的网络属于不同的运营商，那么松耦合方式无疑是一种比较理想的选择；相反，若这些异构的网络属于同一个运营商，那么采取紧耦合方式具有更大的吸引力。

文献^[20]中给出了一种称为BWM（Broadband Wireless Multimedia，宽带无线多媒体）的统一无线网络融合架构，这个架构属于典型的紧耦合方式融合，它在应用层和物理层面上综合了广播业务和宽带无线接入业务，同时提供了一个无线资源管理架构。图3-2和图3-3分别是其网络融合及无线资源管理的概念架构。

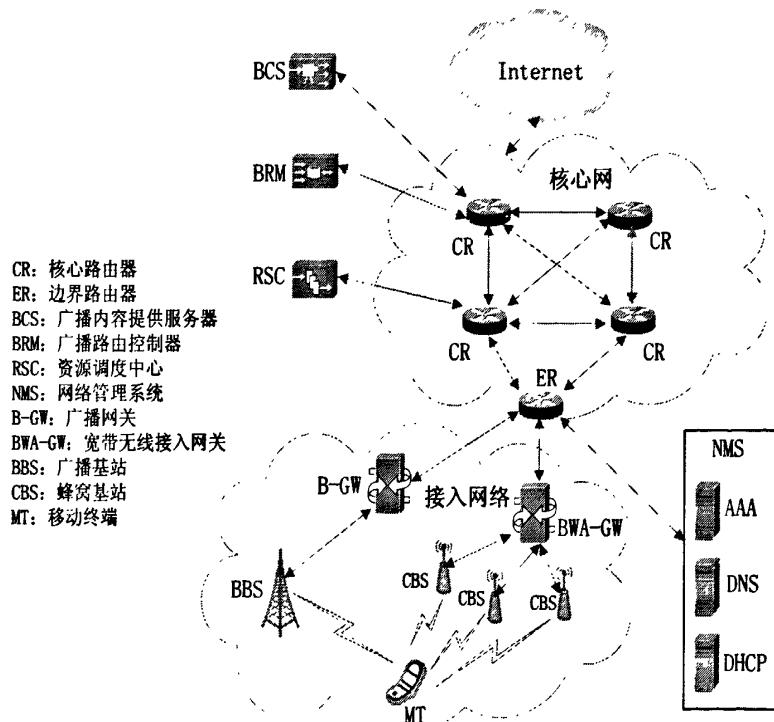


图3-2 BWM的紧耦合方式网络融合结构

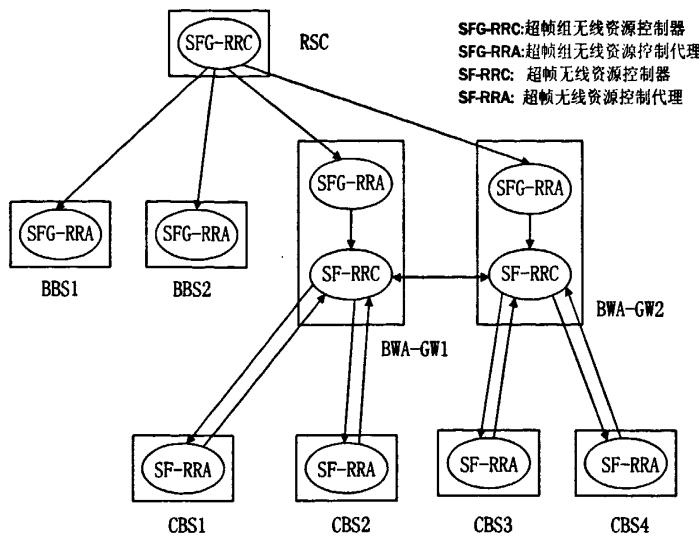


图3-3 BWM在紧耦合融合结构下的联合RRM架构

在图3-3中，BWM的融合结构包括两个基本工作模式，一个是由BBS(Broadcasting Base Station,广播基站)+CBS(Cell Base Station,蜂窝模式)(称为B-C模式)，另一个是单纯的CBS模式(C模式)。运营商可以按照不同的需求选择不同的无线融合网络工作模式，两种模式均支持较高的广播频谱效率和数据通信。由于两个模式的组网结构差异，因此在物理层的融合方式也不同。对于B-C模式来说，采用TDM方式；对C模式来说，则既可以使用TDM，也可以使用FDM方式。

在BWM的核心网中，来自BCS (Broadcasting Content Server,广播网内容服务中心)的数据和无线宽带接入数据均通过基于IP的网络传送，BRM(Broadcasting Router Manager,广播路由器管理中心)负责从不同的内容提供商向不同的业务区域分发广播数据。由于多数广播业务的延迟受限特征，一些广播路由器管理者可以位于核心网中对广播数据的路径进行优化。另一个在核心网中的重要管理实体是RSC(Radio Scheduling Center,无线调度中心)，它负责广播业务和数据业务的资源分配。在空中接口的帧设计中，采用了帧、超帧和超帧组的结构。在每一个超帧中，广播和通信数据是共存的，每一部分的比例由RSC通过配置来决定，然后通知给各个BS。另外，对终端进行管理时也需要的DHCP、DNS和AAA等功能可以全集成在一个网络管理服务器中，也可以分布在不同的管理服务器中。

在图3-3中的B-C模式中，BBS和CBS分别通过一个B-GW (Broadcasting GW,广播网关) 和一个BWA-GW(Broadband Wireless Access GW,宽带无线接入网关)连接到核心网上。B-GW主要用于BBS的资源管理，BWA-GW则完成数据业务的移动性管理和无线资源管理。对C模式来说，则没有BBS和相应的B-GW。

对B-C模式，广播和数据业务由BBS和CBS通过TDM方式分别传送。因此，在这个模式中的终端必须从不同的BS处接收广播和宽带无线接入业务数据。由于发送功率大，因此只需要少数几个BBS就组成一个SFN。CBS作为传统的蜂窝网络设备，可以为数据业务和广播业务的反向链路信令提供服务。显然，在B-C模式中，其广播部分与现有的独立广播系统，例如DVB-H非常类似，即单频网用来获得高的广播频谱效率；在C模式下，只有CBS是激活的，因此，可以通过TDM或FDM机制来传送广播和通信数据。

另一个紧耦合方式的架构是基于3G的MBMS网络，图2-4实际上也可以看成是一个采用MBMS支持内容融合的广播组播和单播业务的组网架构。

在图2-4中，BM-SC提供包括会话和传输、权限、代理和传送、业务通告以及安全功能，除此之外，对EPS，BM-SC在广播模式下还具有在UTRAN、E-UTRAN的MBMS下的内容同步、MBSFN的MBMS数据头压缩等功能。具体地说，BM-SC作为基于MBMS的内容传送服务入口点，其部分功能与DVB-T/DVB-H的IP封装服务相似，但是，由于MBMS中的动态承载管理，BM-SC的功能远不只是IP封装功能。面向移动核心网络方面，它负责建立和控制MBMS传输承载链路，可以用来调度和传送MBMS传输资源，BM-SC还提供面向终端业务的业务通告，这些通告包含所有需要的信息，例如终端需要参加MBMS业务时需要的多播业务识别符、IP多播地址、传输时间、媒介描述等。BM-SC还能用来产生来自内容提供商的计费记录，也负责安全功能。

文献^[21]给出了基于MBMS的另一个紧耦合的融合方案，它在个人移动广播系统与BM-SC之间定义了一个新的用户级接口，通过经济的多播/广播方式，对现有MBMS系统进行扩展，本接口可以使一大类内容提供商利用MBMS系统将用户创作的内容以最小时延上载，提供给广大的用户。

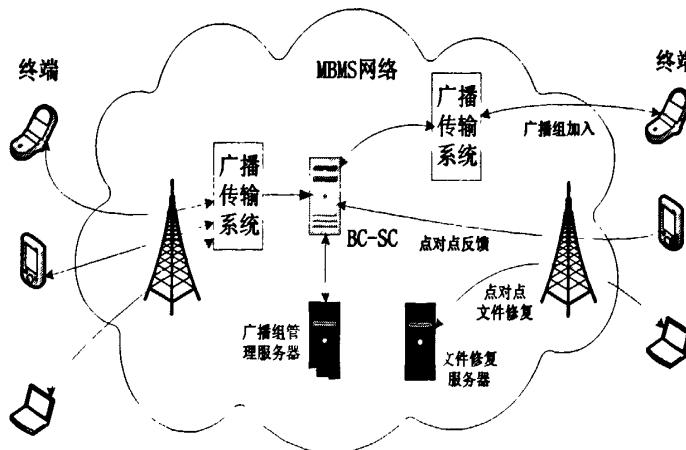


图3-4 个人移动广播/多播系统对MBMS的扩展

上述图3-4的个人移动广播系统是为以下三个场景下设计的：一个是通过B-UE发送一个文件到BM-SC，通过BM-SC储存和中继数据，由MBMS承载网传送到R-UE，这是上载和下载的场景；第二个是上载和下行流方式，B-UE发送一个包含流特性的文件给BM-SC，BM-SC以流的方式中继数据到各个R-UE；第三个是上行流和下行流方式，B-UE通过BM-SC，将媒体流从R-UE传送到另一个R-UE。

其它关于紧耦合方式融合组网的文献还包括^{[22][23]}等。

综上所述，紧耦合方式融合可以在内容网、接入网络和承载网络进行，网络支持的广播、组播和单播能力可以进行灵活的控制，但是对用户来说，通常是通过统一的认证、计费方式享受业务的。

而在松耦合组网方式中，异构网络的系统结构相对独立，功能上相互补充，松耦合方式的典型解决方案是BWM中的B-C模式，如果用户是同时支持移动和广播的用户，而且两个网络完全是独立工作的，即两个基站不是协同工作的，则是典型的松耦合方式融合。松耦合方式的优势是可以充分利用目前基于多模终端的初步融合，给用户融合业务的体验，但存在的最大问题是运营商很难控制用户的资源使用和资费。因此，在松耦合融合方式下对无线资源的管理调度是一个需要研究的关键问题。其它松耦合的文献还有^[24]等。

3.1.2 从NGN组网的不同层面上划分

从NGN的角度出发，网络融合可以从业务层面、控制层面、承载层面和接入层面等四个层面出发来考虑，目前出现的移动广播组播的众多融合解决方案也可以按照这四个层面进行划分和分析。

3.1.2.1 从业务层面划分

广播多播网络通常在接入层面、承载层面和控制层面呈现不同的实现方式，但在业务层面上可以达到统一。OMA的BCAST定义的SG(Service Guideline,业务指南)^[31]从业务层面出发，定义了可以应用于诸如3GPP、DVB-H或3GPP2以及其他可以提供IP传输的网络的通用业务层功能，OMA实际上定义的是一个适配规范，即在某个具体系统上能应用的通用使能实体和一些小的具体适配功能。在OMA的广播使能功能中，包括业务指南、文件和数据流分发、通告、业务&内容保护、业务的交互性、业务提供、终端提供、漫游和移动性支持、对每个功能

的回程接口规范以及广播分发系统的适配（目前主要针对3GPP的MBMS、3GPP2的BCMCS和DVB-H上的IP数据传送等系统）等部分。

SG作为BCAST的一个核心部分，用来描述业务和节目的信息，包括针对终端用户和设备的信息。SG以XML格式编码，结构化为信息单元，称为片(Fragment)，通过不同的片可以描述业务和节目的预定安排，包括需要调谐和接收业务的技术细节、交互性、用户的附加信息以及与购买和传送相关的信息。

SG的片可以捆绑和打包成一个特殊的单位，称为SGDU(Service Guideline Delivery Unit,业务指南传递单元)，将某业务所有现有的片及其片的群封装到SGDU中，则被称为SGDD (Service Guide Delivery Descriptor, 业务指南传递描述器)，SGDU可以在广播中传送，典型的就是经常重复广播，也可以通过单播按需传送，也可以在交互式的回传信道中传送。SG是动态的，网络可以对SG不断进行更新和管理。

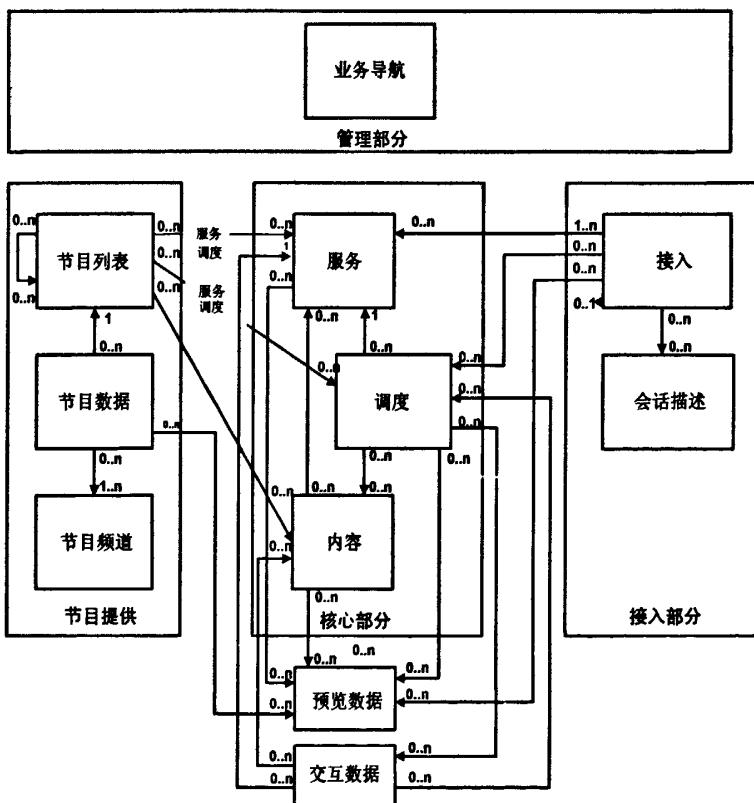


图3-5 OMA BCAST的SG

通过SG作为广播和混合网络融合的一个重要组成部分，提供有关现有可能内容的有用信息，让用户有效地接入到几个业务上，为个人化和交互性业务提供支持，是业务层面上进行融合的主要手段。一些文献研究并开发了基于SG实现

的融合实验网。文献^[25]开发的SG可以提供对一大类内容的描述，包括电视节目、广播、歌曲、各种铃声、静态图文、游戏、电子书籍甚至广告等，除此之外，还可以按照OMA对DRM系统的规范向用户提供获取这些内容的相关信息。在实现方面，SG需要以较简单的格式传输，以便尽可能地少占用带宽；其次，还应使终端用户可以快速获得SG以便省电；另外，实现时需要考虑命名的扩展性，不涉及显示数据时的任何表示层的规则，这就给应用更大的灵活性。另外，还需要充分考虑到未来的IPDC（Internet Protocol Datacasting，IP数据广播）系统可能会出现多于一个SG的情形。

在业务层面上融合的另一个重要技术是业务的虚拟化。基于开放的Web业务应该支持任何设备（手机、PDA、笔记本电脑）之间的交互，但是，通常无线运营商提供给其移动用户的业务是与基于Web的业务提供商是分开提供的，因此，移动设备需要支持一个可以接入任何WS业务的更开放的架构。这个架构应该满足支持任何移动客户机不仅能接入到一个具体的业务提供商上，而且能根据其它因素，接入到任何其他可能满足其需求的业务提供商上，即具有在移动环境中变换业务提供商的灵活性。WS虚拟化基于将一个或多个Web业务组群成一个独立的包，并以一个标准Web业务进行公布，这样的业务称为虚拟Web业务(VWS)。

采用业务虚拟化后，从客户角度来看，虚拟业务和真实业务之间没有区别。此外，还可以在客户机上执行一些附加的逻辑（如差错管理、提供商的选择等），这样，可以彻底地降低软件的复杂性，特别是客户机软件的复杂性，这对移动设备的资源受限特性来说是至关重要的。文献^[26]在移动场景下，基于DVB-H采用了业务虚拟化的机制，通过定义一个Web业务提供商和Web移动客户机的中间层，对移动客户机封装、隐藏了复杂性、可能性和位置等问题，通过采用简单的客户机来适应移动设备，并基于DVB-H的FLUTE协议构造传送带机制，实现了在新的开放Web上支持移动设备接入Web业务的功能。

在业务层面，基于位置的增值业务提供是一个重要的内容。文献^[27]是移动VCE核心项目III的网络互联（IoN）架构下蜂窝网和DVB-H网络以开放耦合方式互联时提供基于位置的业务的一个例子。假设MT同时有UMTS接口和DVB接口，位置管理的机制会影响UMTS网络维护的所有空闲MT的LA信息。UMTS网络和DVB网络分别维护自己的LA和小区覆盖地图。当收到UMTS/DVB多接口终端中来自DVB接口的连接请求时，会先询问UMTS网络的HLR以便得到MT的存储LA信息。通过使用重叠的UMTS LA/DVB小区覆盖地图，可以大致从MT的UMTS LA映射出DVB网络中的小区。映射到每个重叠小区的成功概率可以通过计算个别LA和那些重叠在上面的DVB小区的重叠区域得到。因为映射过程的结果是概率的，当在UMTS和DVB映射之间存在含糊的话，网络会试图先在最大似然小区通

过顺序寻呼用户，也可以简单地在所有可能的小区内寻呼用户。文献^[28]对上述涉及的信令流程进行了优化。

在业务层面的研究中，对业务调度机制的融合研究也是融合的一个必不可少的重要方面。目前混合网络使用最多的形式为下行信道采用数字广播网络，通过蜂窝、PCS和/WLAN网络来提供上行回程信道。在这种移动交互广播环境中，从网络架构和信道带宽来看，前向和后向链路是非对称的，数据广播站或服务器需要一个复杂的机制来调度节目以便使客户机得到想要的节目，这个调度机制需要根据数据节目的统计特性和用户请求的模式来决定。通常有两类广播调度机制，一种是常规的静态广播调度机制，也称为基于推送式的或周期性的广播；另一种是动态广播机制，也称为点播或基于拉送式的广播。采用基于推送式的调度机制时，节目数据基于传送带周期性地进行广播，不会考虑每个客户机的请求模式和喜好倾向；采用拉送式点播调度机制时，服务器会根据客户机对请求的等待时间和/或对节目的喜好倾向构造一个节目数据传送带。由于两种调度机制各有利弊，目前对结合推送式和拉送式的节目数据调度机制的研究是个热点^[35]。通常，带宽资源被固定分成拉送式和推送式节目数据两个部分，有些文献中则将节目动态地分成周期性的和点播广播的，同时把节目按照受欢迎的程度分成两个集合，不同的集合具有不同的广播机会。在每个数据传送带周期，服务器按照客户集的统计需求选择那些最合时的节目组成一个数据传送带，允许服务器应答尽可能多的客户需求，同时保持服务器的响应时间较短。关于节目调度的文献还有^[29]。

移动电视与传统的电视概念相比，最大的差别有两个，一个是何时和何地均可以消费；第二个是移动终端自然会选择一个回传信道用于终端用户与广播者之间的交互。这两个特征使移动电视不只是一个传统电视的简单扩展。广播网络要想支持交互性业务，而又保持其广播的特性，则必须考虑业务定位及其使用的场景。文献^[30]根据DVB-H系统对正在标准化的通告业务进行了研究。通告业务作为移动电视业务的一个补充，主要提供即将发生的应急事件或随时可能的事件信息。如果需要的话，通告业务可以通过同步方式面向所有可达的用户或终端。通知可以预先传送，也可以存储，并在一个确定的时刻由终端或用户使用。用户也可以预定基于某个业务的通告业务，也可以预定一类通告业务。典型的通告服务应用包括通用系统通告（包括DVB-H网络故障、中断业务传送等）、应急业务、广告、业务相关信息通告（新业务推出、软件/文件下载升级等）、新闻和体育报道、投票/评述、基于位置的信息（如地区性的新闻，天气预报）、通告预定业务等。文献^[30]给出了实现通告业务需要的通告协议及其消息扩展定义，并提出要建立PDN（Platform Default Notification，通用通告信道），和对应的SG（称

为缺省通知(EDN)。PDN用来通知在IP平台的提供通告业务的位置,例如紧急通知、广播中断、连接参数的变化、新业务提供商的可能性都是平台通告的内容;EDN则与某个特定的ESG(Electronic Service Guide,电子业务指南)绑定,例如新业务的提供信息需要及时跟踪通告信息,终端通过自动调谐从这些缺省的通告信道中接收新的通告消息。其它关于交互性业务及其试验网的研究文献还有[23][28][31]等。

近来,由于承载网络的全IP化以及流媒体业务传输技术的快速发展,内容的IP化传送变得非常容易,因此对流媒体业务内容的上传及其与内容网络互联,以便提供网络电视内容,也成了业务层面的一个重要发展方向。上述提到的文献^[15]为现有MBMS系统增加个人移动广播系统作为扩展,从业务层面的角度出发,本扩展也是在业务层面进行融合的一个重要思路,它将使基于IP的一大类流媒体内容通过内容网络融合到现有的广播网和移动网络上。

3.1.2.2 从控制层面划分

在广播网络与其他网络的融合发展过程中,业务的应用场景和需求是主导控制平面技术发展的最大驱动力,从业务角度来看,目前单纯的广播网业务不需要控制平面的信令交互过程,在下行信道传送数据同时又需要上行交互的业务中,控制平面上涉及的上行控制平面信息交互实现方式则与上行信道采用的网络类型有关。目前,3GPP和3GPP2在关于MBMS和BCMCS的技术中,部分规范了对广播/组播业务的信令支持^[14]。因此,在两个网络的融合过程中,充分采用上行信道支持业务的交互性才能从根本上驱动控制层面的融合。

3.1.2.3 从承载层面划分

承载层面上的融合主要涉及基于IP的移动TV数据传送技术。目前,在Internet上进行TV内容分发的传输机制主要有两个:流形式的传输和网播(podcasting)。流形式的传输中,视频和音频被编码器封装成小的分组,通过RTP/RTCP承载,在网络上连续地传输,允许终端应用在数据到达时复制音频和视频数据;流媒体提供商控制内容分发,用户在提供商发送这些内容之后不能再欣赏这些内容,因此流形式的传输适于用户终端存储能力有限的情形;另外,流媒体方式的传输需要满足最小的QoS参数,以便支持对时延敏感的数据。在网播的传输方式中,包含从Internet上下载的视频、音频或者甚至事件数据,内容提供商可以在Web服务器上通过URI提供其内容,这些URI在一个称为feed的文件

中列出来，做为用户指南提供给想接入的用户。文件可以多次播放，也可以存在其他设备中。业务可以免费提供，也可以通过以前的订阅提供。两个传输机制各自有其优越性和局限性。流形式的数据传输带来的实时性问题在网播中不会发生，因为内容在播放时所有数据已经接收下来了。但是，在这种情形下，有两个问题需要解决，一个是数据的可靠性，因为数据是以文件方式进行传输的，另一个是由于延迟的原因，系统可能无法传输实况TV或广播节目。

多播业务的可靠性是基于IP传输移动TV和多媒体业务时需要考虑的一个重要方面。电视类的业务和广播、视频会议或交互式游戏涉及在给定网络上为大量的接收者分发相同的内容，如果以点到点的方式提供这些业务，则效率较低，因为随着业务用户群的增加，信令和媒介的额外开销会呈线形增加，耗费了网络上的很多资源和带宽；如果采用多播则可以降低带宽的消耗和信令的开销，但是，多播本身不能保证多个接收者都能正确地接收分组。因此，上层必须提供可靠性保证机制。在单播传输中，ARQ是广泛采用的机制，TCP采用ACK消息保证发送者更新所有正确接收的数据报文。但是，在具有很多接收者的多播传输中，服务器可能接收成千个重传请求，这些请求不但会导致服务器过载，而且还要求发送者具有上行回传信道响应请求，这在卫星和广播网络中是难以支持的。因此，需要其它机制支持多播的可靠性传输，目前常用的是FEC机制。近年来，出现了一些用来支持大量文件分发的可靠性多播传输协议，FLUTE和NORM就是两个例子。FLUTE协议^[34]基于ALC/LCT协议，基于UDP运行，可用于单播和多播环境；NORM协议^[35]是一个为群用户提供多播可靠性文件传输的协议，它可以基于NACK机制做多播的可靠性传输。当系统收到在MPEG-2 TS帧中封装的IP数据包时，可以通过封装和可靠性机制处理来进行传输，目前主要有两类封装技术，一种是MPE，另一种是ULE。

DVB-H和3GPP的MBMS规范的开放性比较好，均标准化了基于IP的广播/组播数据传输方式。基于DVB-H的IP数据广播规范部分将数据内容的生成、业务应用、业务管理、广播网络、交互式网络和终端等实体之间数据流传输的方式及其协议栈结构进行了详细的定义^[33]，见图3-6。

广播网络中数据传输的IP化可以极大程度地推进广播网络和现有电信网络之间的融合。目前在广播承载网络方面融合的文献很多都集中在基于DVB-H与现有网络的融合研究上^{[15][22][24]}。

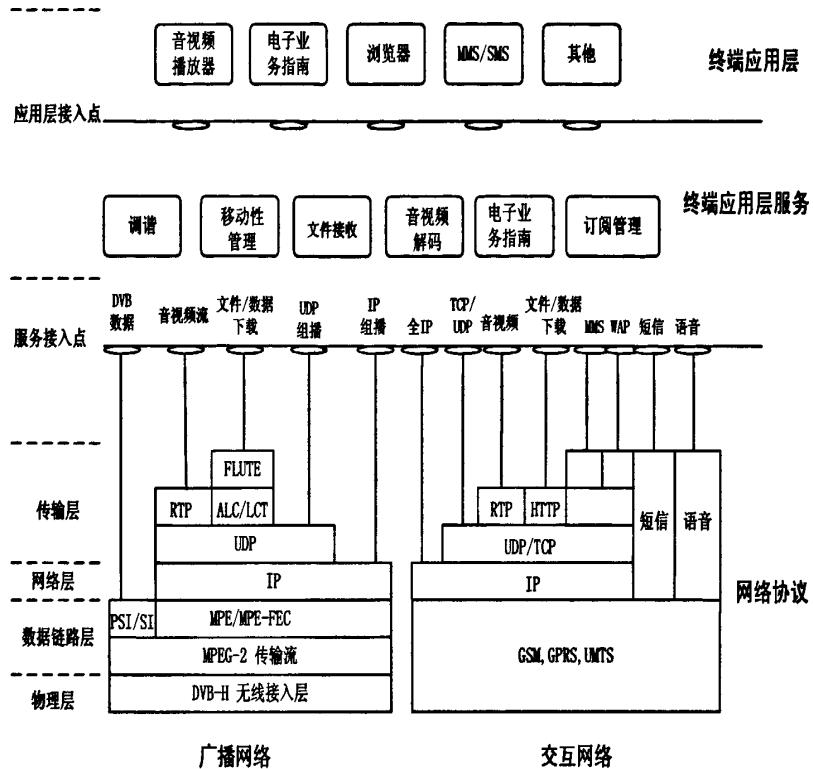


图3-6 IP数据广播的协议层次结构

3.1.2.4 从接入层面划分

在接入层面上进行的网络融合，除了涉及到网络架构方面的研究之外，在空中接口，还包括在不同的天线配置下广播、组播和单播的性能、在不同的融合组网模式下的协同协议设计和帧设计、协同无线资源管理、同步技术、干扰协调技术等方面的研究。本文集中讨论与网络融合和业务密切相关的部分。

文献^[20]提出了BWM的几种不同组网模式，根据不同的组网模式，BWM设计了空中接口的超帧格式。超帧结构的设计对BWM网络的性能影响比较大，因为广播业务和通信业务是共存的，超帧过长，则会影响链路自适应算法的设计，而超帧过短，又会导致由于头和保护时间带来的相对较大的额外开销。在每个超帧中还必须考虑广播业务和通信业务的比例。此外，帧结构的设计还应该综合考虑终端的功耗问题，特别是对只接收视频广播的终端。BWM中给出了一个三级的帧结构。第一级分为广播业务的B-帧（广播帧）和通信业务的D-帧（数据帧）。第二级是个超帧，包括B-帧和D-帧。通常，超帧中只有一小部分用于广播业务，其余的做为数据通信业务和广播业务的反向链路传输。广播和通信的比例可以动态变化，以便充分利用频谱资源。第三级是超帧组，包括几个时域的超帧，所有

广播信道在一个超帧组中至少出现一次。BWM超帧的设计包括TDM和FDM两种方案。

在BWM的TDM方式中，TDM超帧结构可以用于B-C模式或C模式，N个超帧组成一个超帧组，为了减少唤醒终端的时间，假定每个广播信道在一次超帧组中出现一次。与DVB-H的超帧时间分片模式很类似，广播业务所占的部分可以动态变化以适应不同视频信道带宽的需求。因此，当任何一个终端在接收了广播信道的信息后，如果没有数据业务的话，则可以在超帧组的其它时间内进入睡眠状态以便省电。每一个超帧可以包括多个B-帧和D-帧。在一个广播信道的B-帧中，应该加入指示下一次得到本信道信息的时间。每个超帧中的D-帧用来传送宽带无线接入业务，与传统的宽带无线接入系统功能类似。现有无线通信网络中的任何技术，例如TDD/FDD或TDMA/OFDMA的接入方式等均可以在这个时隙接入。

在BWM的FDM方式中，FDM只用于C-模式，在每个超帧中，部分频率资源用于宽带广播业务，其余的用于宽带无线接入业务。对接入业务来说，与现有的无线通信系统兼容，可以采用多种接入方式（TDD/FDD）。与TDM类似，在FDM的一个超帧组中，所有支持的广播信道至少出现一次。

BWM的超帧结构设计可以提高频谱效率和利用的灵活性，不同的运营商可以设置不同的资源分配方式。为了满足不同广播业务的带宽需求，广播业务的复用和分离需要在B-帧中操作。当初期BWM网络中只有很少的广播信道时，一个超帧组中的一些B-帧可以由D-帧替代。

在接入层面上进行网络融合的另一类主要解决方案是各种异构网络（WLAN/WiMAX）与广播网络和蜂窝网络的融合，这一类文献包括^{[36][37][38]}。文献^[36]提供了对DTMB系统和现有的移动通信系统之间的融合试验网研究，下行是DTMB系统，上行回传采用了WLAN和CDMA20001x提供的信道，融合的系统能提供多媒体广播业务，本系统把业务分为四类：即数字电视、视频点播、点播数据和Internet接入，并给出了层次化的设计架构及其支持的信令协议栈，提出了子网数据单元层和改进的HARQ信令协议。文献^[37]针对DVB-H与MBMS之间的异构融合提出了基于IEEE802.21的融合框架结构，给出了基于QoS感知的支持多播内容上下文漫游和切换的通用无缝融合框架；文献^[38]则给出了针对DVB-H与Wi-Fi和Ad Hoc网络之间进行融合和无缝切换的研究和测试结果，给出了在下行方向上由DVB-H到Wi-Fi和Ad-Hoc网络的切换，以及在上行方向上Wi-Fi与Ad Hoc之间的切换，本方案的前提是DVB-H的内容网络是完全IP化的，DVB-H网络与WLAN网络上具有同样的内容在同步播放。文献^[32]针对移动广播网络与家庭网络，提出了一个融合架构，以一个移动设备作为实时内容重播的网关，将基于

DVB-H的移动TV系统和基于DLNA/UPnP的WLAN家庭网络连接起来，形成了一个在家庭网络中的移动TV重播系统。

综合以上研究结果，下面一节我们提出以E-MBMS为核心并融合包括DVB-H等技术在内的多种网络接入技术来提供多域广播组播服务，并由此引入了802.21技术用来协助终端在异构网络之间的切换。

3.2 MBMS/E-MBMS 与 DVB-H 的融合网络技术研究

本节基于网络融合提供 MBMS/E-MBMS 业务的方法，在 E-MBMS 的逻辑架构下，融合广播网络和 WLAN 等网络资源，来支持移动广播/组播业务。其中涉及的相关背景技术包括 E-MBMS 技术、802.21 异构网络融合技术等。

3GPP 目前正在标准化的 E-MBMS 定义的逻辑架构如图 2-5 所示，MCE 做为一个逻辑实体，主要负责基于 MBSFN 操作的多小区 MBMS 传输中，在 MBSFN 区域中所有 eNodeB 使用的时/频无线资源分配，并决定无线资源的配置方式（调制方式和采用的编码机制等），MCE 参与 MBMS 的会话控制信令过程，但不支持用户与 MCE 的信令交互；E-MBMS 网关（MBMS-GW）作为一个逻辑实体，其主要功能是采用 SYNC 协议发送/广播 MBMS 数据包到每个支持 E-MBMS 传输业务的 eNodeB，支持在用户平面的头压缩功能，采用 IP 组播向 eNodeB 转发 MBMS 用户数据，并执行 MBMS 面向 E-UTRAN 的会话控制信令。目前 E-MBMS 定义的逻辑架构只能对蜂窝网络提供移动广播组播业务进行支持，未定义在异构环境中支持移动广播组播的相关关键技术。

在对异构网络的研究中，目前 3GPP 在 SAE 中定义了非 3GPP 的接入方式，包括 WLAN、3GPP2 等，但未定义基于 MBMS/E-MBMS 业务下的网络架构，而目前对 MBMS 业务的支持架构和关键技术中明显存在资源紧张的问题，因此研究 3GPP 提出的 MBMS/E-MBMS 框架与其他异构网络的融合，可以为提供广播组播业务提供更优地解决方案。

IEEE 802.21 规范统一定义了基于通用的 MIH 架构支持异构网络之间的基于位置的通用切换规程，目前，IEEE 正在进行 802.21b 标准的制定工作，它是在 802.21 基础上进一步提高安全性能，以及增加 MIH 模块对广播网络如 DVB-H、Media FLO 和 T-DMB 等技术的支持。本节正是在 E-MBMS 的逻辑架构下，提出了一种基于蜂窝网络，融合各种异构网络（包括广播网络）提供 MBMS 业务的新的网络架构，这是针对上述问题的一个合理解决方案。

3.2.1 IEEE 802.21 技术

IEEE于2003年1月启动了关于802.21技术^[39]的相关研究，并于2004年1月成立了802.21工作组专门制定相关的标准。通过在异构网络中引入802.21技术，可以方便地在异构网络之间实现业务的透明传输，用户和网络的信息就可以在异构网络间实现共享。目前的已有标准可以解决IEEE802.3、802.11、802.16等802系列网络标准以及3GPP/3GPP2等非802网络间的无缝切换，但是802.21已经支持的异构网络还都是双向网络，不支持包括DVB-H在内的单向广播网络与其他网络之间的切换。

802.21的核心是MIH（Media Independent Handover），也就是在二层和三层之间引入一种新的功能模块—MIHF（Media Independent Handover Function），MIHF作为网络上层和底层通信的一个中介，用来协调执行切换时信息的交换和控制信息的传输，它针对不同异构网络的底层定义了专门的业务接入点，用来针对各种不同的异构网络进行访问与控制，同时定义了独立于接入网络的移动性管理协议进行通信。MIHF主要提供以下三种服务：

- (1) 媒介独立事件服务(MIES)，用来检测在链路层发生的状态改变，并针对来自本地或外地的状态改变信息向上层功提供事件触发服务。
- (2) 媒介独立控制服务(MICS)，主要根据由MIES获取的事件触发信息作为执行切换等动作的依据，并帮助上层来管理和控制与切换和移动性相关的链路行为。
- (3) 媒介独立消息服务(MIIS)用来帮助用户获取本地接口以及邻居网络的信息，包括信道和MAC地址信息等，MIIS提供的信息可以帮助上层更加高效地判断是否需要切换。

由于MIHF是处于二层和三层之间的一层功能实体，所以必须定义它与其它各层之间的接口，这就是服务接入点(SAPs)，这些服务接入点包括媒介独立和针对特定媒介的接口，主要包括以下几种：

- (1) MIH_SAP，这是一种独立于媒介的服务接入点，它与高层有通用的接口，MIHF通过该接入点向高层提供事件服务和消息服务，而高层也通过该接口提供相关控制服务。
- (2) MIH_LINK_SAP，这是一种针对特定媒介定义的服务接入点，可以为MIHF提供针对特定接入技术的检测和控制信息，针对不同的链路，MIH需要定义不同的MIH_LINK_SAP。
- (3) MIH_NET_SAP，这是一种针对独立于媒介的服务接入点，用来支持本地MIHF和外地MIHF之间的事件触发和控制服务。

已有 IEEE 802.21 技术主要是针对具有双向信道的无线接入方式，这是因为支持双向链路的网络能够使得对等 MIHF 实体可以在互相之间方便地交换信息，但是对于地面广播技术 DVB-H 来说，它只有下行信道，所以 802.21 技术必须做出某些改进，以便支持混合网络中的广播组播技术，这些改进应该使得下层相对于上层来讲表现为一个双向的系统，也就是说必须把其他网络中的单播上行技术与广播技术相结合，以便帮助对等的 MIHF 实体交换相互之间感兴趣的信息，用来解决资源分配、切换准备和切换执行等方面的问题。当前，IEEE 正在进行 802.21b 标准的制定工作，它是在 802.21 基础上进一步提高安全性能，以及增加 MIH 模块对广播网络如 DVB-H、Media FLO 和 T-DMB 等技术的支持。图 3-7 是 802.21b 标准草案中改进的网络结构图^{[40][41][42]}：

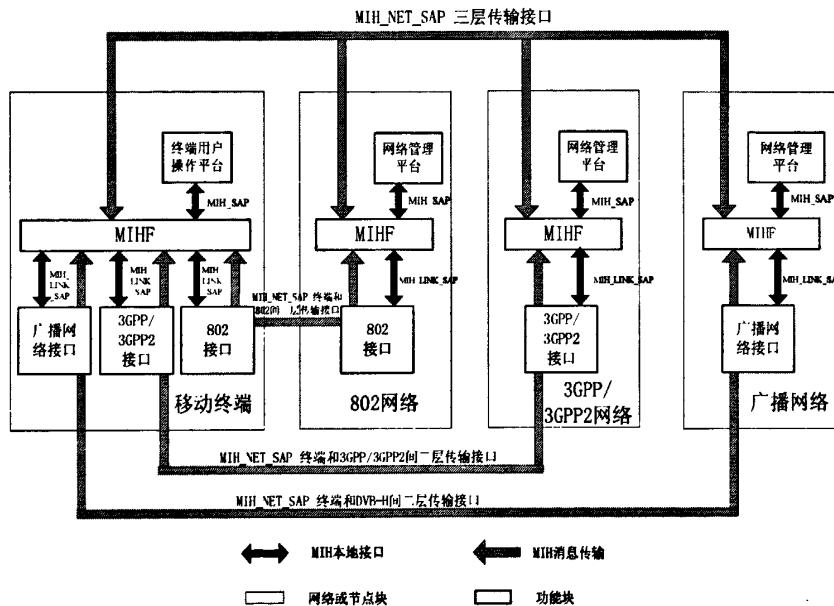


图 3-7 802.21b 草案中的通用 MIHF 逻辑图

802.21b 通过增加对广播网络的支持，就可以为包括 802 系列网络、UMTS 网络和广播网络在内的各种无线网络提供切换支持，如果这些异构网络为 802.21b 中的 MIHF 逻辑模块提供支持，而终端也能够支持多种接入模式以及 MIHF 模块，那么终端就可以在这些网络组成的异构网络中灵活地进行切换操作。下面我们以 E-MBMS 为基础，提出紧耦合的一种组网方式，所以需要对 E-MBMS 做进一步的分析。

3.2.2 E-MBMS 中的 MCE 逻辑实体

在当前的 E-MBMS 中, MCE 是作为一个逻辑实体, 它主要负责基于 MBSFN 的多小区 MBMS 传输中, 在 MBSFN 区域中所有 eNodeB 使用的时/频无线资源的分配, 并且它还决定了无线资源的配置方式, 如图 3-8, 是 MCE 与其他实体之间的逻辑关系。

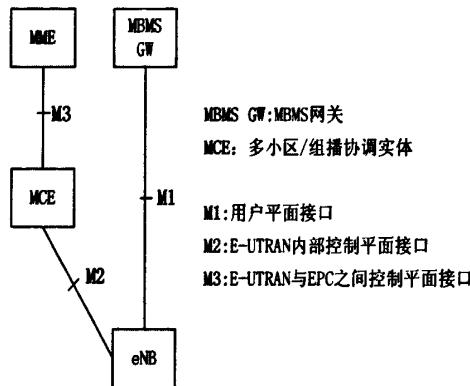


图 3-8 E-MBMS 中 MCE 逻辑实体

当前, MCE 功能仍在不断的完善中, 为了支持包括广播网络在内的异构网络与 E-MBMS 进行融合来提供广播组播业务, 我们对原有 MCE 逻辑实体进行了改进, 提出通过对 MCE 模块进行扩展, 来实现异构网络的同步以便支持包括手机电视在内的数字多媒体业务, 其逻辑架构见图 3-9, 这里扩展 MCE 逻辑实体通过对原有 MCE 逻辑实体的进一步改进, 可以支持包括 eNodeB、DVB-H 等在内的多种接口, 协调异构网络之间的资源调度和同步传输, 另外通过对增加对 802.21b 中 MIHF 模块的支持, 可以方便终端在多种异构网络之间的灵活切换, 从而优化使用网络资源。

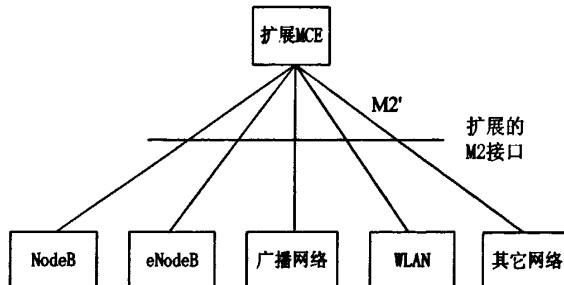


图 3-9 扩展的 MCE 逻辑实体

通过对以上 802.21 技术和 E-MBMS 技术的研究与总结, 下面我们要解决的就是在 E-MBMS 的架构下, 引入扩展 MCE 模块和融合网络信息服务器等新的模块, 当移动节点在使用 MBMS 业务进行切换并需要保持业务连续性时, 采用扩展 MCE 模块及其相应网络选择判决策略, 通过融合网络信息服务器提供的关

于终端和异构网络等多方面的信息，指导移动节点在多域广播组播网络中进行网络选择和切换判决，从而使用户获得更好的广播组播服务。

3.2.3 多域广播组播网络融合架构

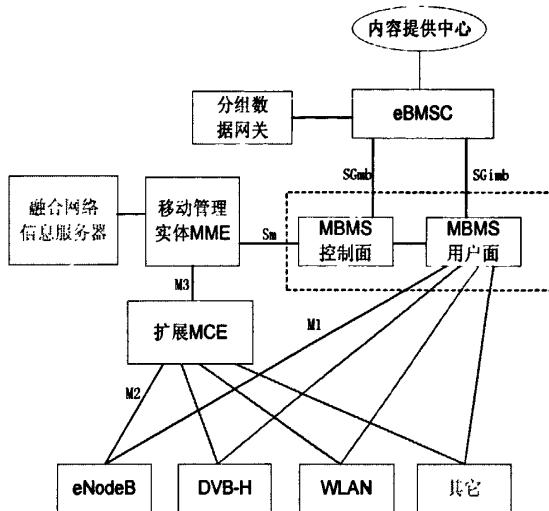


图 3-10 多域广播组播网络融合架构

图 3-10 是以 E-MBMS 为核心的融合多域广播组播网络架构，该网络架构是一种紧耦合的方式，以 E-MBMS 为中心，DVB-H 和 WLAN 等网络作为 E-MBMS 的接入网络资源，在该网络架构中，eNodeB、DVB-H、WLAN、扩展 MCE、MME 和融合网络信息服务器等都能够支持 802.21b 中的 MIHF 逻辑实体，这样可以有效改善多模终端在网络发现、网络选择、切换发起、接口激活和功耗优化等方面的性能，从而协调终端在多种异构网络中的切换。其中的 eBMSC 功能实体是 MBMS 业务的存储、管理和控制中心，移动管理实体 MME 主要用于对终端的移动性进行管理，扩展 MCE 逻辑实体除了支持单频网络中不同 eNodeB 之间的同步传输外，还可以协调 eNodeB 和 DVB-H、WLAN 等其他异构网络之间的资源分配与同步传输。为了实现以上功能，扩展 MCE 增加了与 DVB-H、WLAN 等异构网络的接口，并且能够支持 802.21b 中的 MIHF 模块，另外，MCE 还可以具有网络选择与资源优化等策略方面的功能。MBMS 网关用户平面与 eNodeB、DVB-H 和 WLAN 的接口主要用于下发用户平面的数据。融合网络信息服务器对异构网络状况和用户参数进行存储，MCE 和融合网络信息服务器之间交互，可以获得包括各个网络支持的业务、网络目前的资源状态等信息，扩展 MCE 通过从融合网络信息服务器获得的信息，可以基于一定的网络选择和切换判决策略，为终端提供最合适的网络和最优的服务。

下面我们基于这种融合的多域广播组播网络架构，给出通用的切换流程，包括融合网络切换信息收集、终端能力协商、备选网络资源可用性查询和判决、资源准备和建立新的二层链路连接等阶段。图 3-11 是多域广播组播融合网络通用切换流程图。

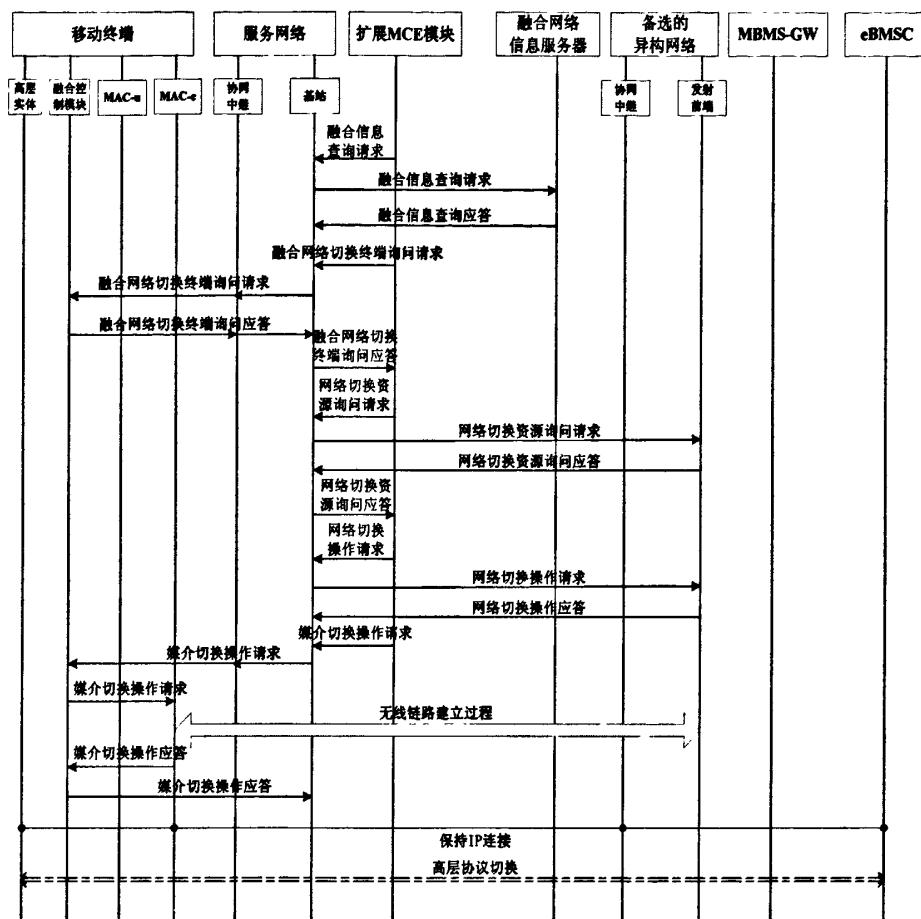


图 3-11 多域广播组播融合网络通用切换流程图

第一阶段：融合网络切换信息收集

- (1) 服务网络的基站周期性地向扩展 MCE 模块报告目前检测到的 MBMS 业务数据接收信号强度，扩展 MCE 根据目前得到的本服务网络的信号接收情况（信号恶化）发起融合网络信息查询的请求给服务网络的基站，基站负责向收集融合网络信息的融合信息服务器（远端实体）发出融合网络信息查询请求（消息），融合服务器发送针对本服务网络基站的应答（消息）给服务网络的基站，消息中含有本基站附近融合网络的详细配置信息，服务网络的基站将应答消息返给扩展 MCE 模块。

第二阶段：终端能力协商

- (2) 扩展 MCE 模块发起切换到备选网络的询问请求给服务网络的基站，基站将此切换备选网络询问请求透传给服务网络的附着点（附着点可以是协同中继），附着点将此请求发送给移动节点，移动节点的融合控制模块根据本终端的硬件支持能力（多模终端）判决是否可以支持切换到备选网络，如果有能力切换，则将切换备选网络询问应答返回到服务网络的附着点（消息），此消息中含有多种方式下多于一种切换方案的选择及其终端的详细能力参数（例如 WLAN 和广播两种切换方案终端都可以支持），附着点将本应答透传到服务网络的基站，服务网络基站将此切换询问的应答传给扩展 MCE 模块。

第三阶段：备选网络资源可用性查询和判决

- (3) 扩展 MCE 模块发起网络启始的切换资源询问请求给服务网络基站，服务网络的基站向备选网络的基站发出网络切换资源询问请求消息，备用网络的基站根据其目前的资源可用情况将应答消息返回服务网络的基站，本消息中含有备选网络可提供的资源详细参数（频段、带宽、QoS 等），服务网络的基站将此应答返回给扩展 MCE 模块。（本过程依照融合网络的不同，可能存在 n 次对 n 个备选网络的询问过程，可以在此几个备选网络之间进行策略优选，所涉及的实体交互可能略有区别，其中在广播网络时无法进行对备选广播网络的切换信息询问过程，只能直接按照融合网络信息服务器给出的信息和参数进入下一步骤。）
- (4) 扩展 MCE 模块对上述 n 个备选网络返回的资源结果进行分析（终端能力、各种接入技术能提供的资源参数），决定切换到哪个备选的目标网络。

第四阶段：资源准备

- (5) 扩展 MCE 模块向服务网络的基站发送网络切换操作请求，服务网络的基站将此请求发送到备选网络的基站（消息），针对此网络切换操作请求，备选网络的基站将含有资源分配信息的网络切换操作应答返回给服务网络的基站（消息），服务网络的基站将此应答返回给扩展 MCE。

第五阶段：建立新的二层链路连接

- (6) 扩展 MCE 模块发出网络切换操作请求给服务网络的基站，服务网络的基站向服务网络的附着点透传此网络切换操作请求（消息），此请求再次发送到移动节点的融合切换模块，移动节点的融合切换模块收到此请求后，通知链路层实体（原语）进入无线链路资源管理的融合网络建立链路流程（规程随终端支持的 RLC/MAC 机制不同而不同）。
- (7) 移动节点的融合切换模块向服务网络的基站发送网络切换操作成功应答（消息），此消息由服务网络的基站发送到扩展 MCE 模块。

- (8) 移动节点的 MAC 层控制实体和用户实体执行并完成二层链路建立流程(即步骤(6)中的新无线链路建立完成)，将此信息(原语)通知移动节点的融合切换模块。
 - (9) 移动节点的高层实体、移动节点的 MAC 层控制实体、备选网络的附着点和 MBMS-GW 以及内容网络服务器的高层实体之间建立并储存相应的 IP 连接信息。
 - (10) 融合基站之间执行高层(网络层)切换流程(RRC/移动 IP 等其他各种切换规程)。
 - (11) 移动节点的高层实体和 MBMS-GW 和内容网络的高层实体之间重新建立业务流连接。
- 第六阶段：释放旧资源(无线链路和网络层连接)
- (12) 移动节点的融合切换模块向备选网络的基站发送移动节点切换完成请求(消息)。
 - (13) 备选网络的基站向服务网络的基站发送网络切换完成请求(消息)，服务网络的基站向扩展 MCE 发送网络切换完成请求，扩展 MCE 模块向服务网络基站发送网络切换完成应答，服务网络基站同时通知链路层规程开始执行释放相应无线链路层旧资源的流程，服务网络的旧无线链路资源释放完毕时，服务网络基站向备选网络基站发送网络切换完成应答(消息)，备选网络基站向移动节点的融合切换模块发送移动节点切换完成应答(消息)。

3.3 本章小结

本章首先介绍了各种针对移动蜂窝网络和地面广播网络融合的研究进展，然后对 IEEE 802.21 技术进行了简要介绍，并提出通过对 E-MBMS 系统中的 MCE 做进一步扩展，使其可以支持包括 eNodeB 和其他异构网络的资源调度和内容的同步下发，这样可以节省蜂窝的网络资源，并灵活利用各种网络资源来提供多媒体数字业务，能够提高包括 MBMS 业务在内的资源利用率。同时给出了基于 802.21 的演进技术 802.21b，在包括 E-MBMS、DVB-H 以及其他异构网络之间进行切换的通用切换流程。

第四章 多域广播组播网络中的网络选择策略研究

在多域广播组播网络中，如何使得终端在多接入网络中能够在任何时候和任何地点都能够获得最好的服务，是移动性管理的重要组成部分，本章主要是基于上一章所提出的融合的多域广播组播网络中扩展 MCE 模块在移动性管理中的网络优化选择问题进行研究。文中首先对异构网络中的切换技术进行了简要介绍，引出了在混合网络中执行网络接入和切换时用于网络选择的多属性接入（MADM）技术，并提出把 AHP 算法和改进的 TOPSIS 算法（ITOPSIS）相结合，从而选择相对最优的网络来执行接入或切换。在网络选择的过程中，首先使用 AHP 算法为候选网络的不同属性赋予权值，在使用 AHP 算法时我们考虑到业务类型和终端移动情况对不同属性权值的影响；然后使用 ITOPSIS 算法选择出最优的接入或者切换网络，这里使用的 ITOPSIS 算法可以有效克服传统 TOPSIS 算法所导致的排序不规则问题。本章最后结合多域广播组播网络中的几个场景，对 AHP 和 ITOPSIS 相结合的网络选择算法的有效性和实用性进行了验证，从而为融合的多域广播组播网络提供网络选择方面的策略。

4.1 异构网络中的切换判决算法

4.1.1 切换管理过程

切换管理中的移动场景可以归为水平切换（在同样网络的不同小区内切换）和垂直切换（在不同类型网络间的切换）。在同种网络中，当前链路无法继续为用户服务时就需要执行水平切换。在异构网络中，垂直切换可以根据需要而不仅是根据连接问题进行切换（例如，根据用户对特定服务的选择）。在垂直切换管理中，主要的目的就是研究达到“总是最优连接策略”，也就是采用一定的策略（例如网络状况和用户参数），使得终端可以在异构网络环境中一直可以获得最优接入。为了实现这种目标，应该选择一种切换管理技术来达到在最合适的时间与地点去执行切换，同时且需要保持业务的连续性。本文所研究的移动的场景是包括了 E-MBMS、DVB-H 和 WLAN，并使用 802.21 进行融合的多域广播组播网络，终端可以基于 802.21 技术获取执行切换所需的网络状况和用户参数。

切换管理通常可以归结为以下三个步骤^{[43][44]}：

(1) 切换初始化阶段:用来收集切换判决时所需要用到的信息,可以把该阶段看做切换信息收集的阶段,对于第三章中我们所提出的融合的广播组播网络架构,其中的融合网络信息服务器用来完成信息的存储与收集。

(2) 切换判决阶段:主要作用是通过使用网络选择算法,选择出最适合的网络,并为切换执行阶段提供相应的指导信息。而对于融合的广播组播网络架构,其中的扩展 MCE 模块可以完成基于策略的网络优化选择过程,并指导网络起始的终端切换。

(3) 切换执行阶段:根据切换判决的指示,执行具体的信令过程,进行信道的切换。对于融合的广播组播网络架构,涉及到各异构网络之间的链路层以及高层的信令流程。

基于融合的广播组播网络架构,本文主要研究第二个阶段,也就是切换判决中的网络优化选择问题,主要解决基于所获取的网络和终端参数来决定在什么时间以及什么地点执行切换。通过在合理的时间执行切换,可以最小化信令负载,并能够避免不必要的切换,而通过在合理的地点执行切换可以满足网络和用户的需求。为了解决切换中在什么时间和地点进行切换的问题,需要提供合适的算法,基于可以获得的一些信息,比如用户的参数、网络状况、业务情况和终端性能参数等进行合理的评估,用来触发垂直切换的执行。为了实现这个目标,我们研究了很多方法:包括基于判决函数的策略、用户中心策略、基于模糊逻辑和神经网络的策略、多属性接入判决策略和基于上下文的策略等。在本文,我们主要研究最常用的基于多属性接入(MADM)技术的网络选择判决算法,下面对 MADM 技术做进一步介绍。

4.1.2 基于 MADM 的网络选择

MADM (Multiple Attribute Decision Making, 即多属性决策) 主要研究的是根据问题的多个属性进行方案的优选或排序问题。它一般是根据问题的多个属性,尽量使决策者所期望的满意度达到最大化,从而选择出最佳的方案。在异构网络之间的切换决策中,需要考虑很多属性,包括传输带宽、延迟、抖动、接收信噪比等。在综合考虑这些属性的情况下,如何选择出最佳的目的网络,就是异构网络中研究多属性决策的目标。

图 4-1 是基于 MADM 的网络选择算法基本架构,首先应该根据网络端、用户、终端和不同业务的需求,为不同属性分配相应的权值,然后结合不同属性的值,采用多属性决策算法为异构网络环境中的候选网络进行排序,从而选择相对最优的网络。

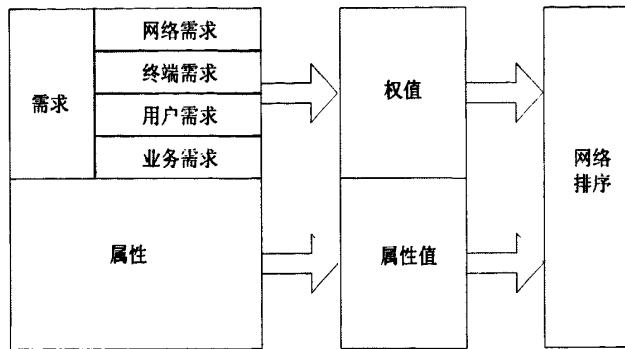


图 4-1 基于 MADM 的网络选择

在本文中，我们对属性权值的分配采用 AHP (Analytic Hierarchy Process, 层次分析法算法)，而网络排序算法采用 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 的改进算法 ITOPSIS(Improved Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)。下面对多属性判决中的权值分配算法 AHP 和网络排序算法分别进行介绍。

4.1.3 AHP 算法

AHP (Analytic Hierarchy Process, 层次分析法) 是美国运筹学家 T.L.Saaty 教授于上世纪 70 年代初期提出的一种简便、实用的多准则决策方法^[45]，该方法特别适用于那些需要完全定量分析的问题。通过这种方法，可以将复杂问题分解为若干层次和若干因素，在各因素之间进行简单的比较和计算，就可以得出不同方案重要性程度的权重，从而为决策方案的选择提供依据。AHP 算法通过把所有不同属性的重要性进行两两比较，可以有效克服主观分配属性权值过程中的不准确性。有很多文献研究采用 AHP 来进行权值的分析^{[46][47]}，按照 AHP 分析法建模，一般可以按照下面四个步骤来进行：

- (I) 建立递阶层次结构模型
- (II) 构造各层次中成对比较矩阵
- (III) 层次单排序及一致性检验
- (IV) 层次总排序及一致性检验

下面就上述的几个步骤所完成的功能分别进行介绍：

(1) 步骤一：建立递阶层次结构

应用 AHP 分析决策问题时，首先是把问题条理化、层次化，构造出一个层次的结构模型。在这个模型下，把复杂问题分解为不同层次下的属性。如图 4-2 是我们建立的层次结构图。

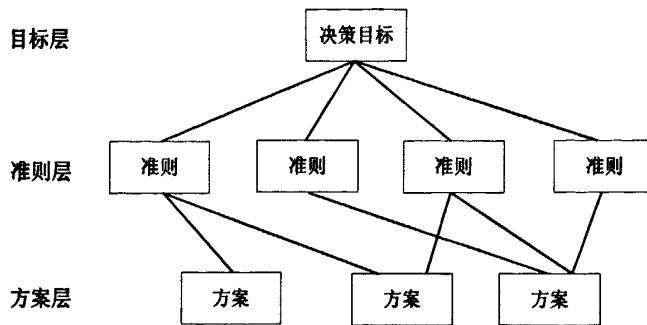


图 4-2 AHP 算法中的层次结构模型

(2) 步骤二：构造各层次中成对比较矩阵

在确定影响结果的不同属性所占的权重时，遇到的主要困难是这些权重常常不易进行量化。此外，当需要考虑的属性较多时，直接考虑各属性对于目标的选择有多大程度的影响时，也常常会因考虑不周全、顾此失彼而使决策者提出与他实际认为的重要性程度不相一致的数据，甚至有可能提出一组隐含矛盾的数据。为此，Saaty 等人提出可以采取对属性进行两两比较建立成对比较矩阵的办法，并采用数字 1-9 及其倒数作为比较的标度。表 4-1 列出了 1-9 标度的含义：

表 4-1 标度的含义

标度	含义
1	表示两个属性相比较，具有相同的重要性
3	表示两个属性相比较，前者比后者稍重要
5	表示两个属性相比较，前者比后者明显重要
7	表示两个属性相比较，前者比后者强烈重要
9	表示两个属性相比较，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	表示两个属性相比较，后者相较于前者的重要程度

至于为什么取 1-9 比例标度，这是因为人们的直觉最多只能判断出 9 个等级的差异，再细的差异，人的直觉是分辨不出来的。Saaty 等人还用实验比较了不同标度下人们判断结果的正确性，实验结果也表明，采用 1-9 标度最为合适。

最后，应该指出的是，一般地如果有 n 个权值需要计算，若是进行两两判断，那么需要 $n(n-1)/2$ 次判断，这是必要的。有人认为把所有元素都和某个元素相比，即只作 $n-1$ 次比较也就可以了。这种做法的弊端在于，任何一个判断的失误都可能导致不合理的排序，而个别判断的失误对于难以定量的描述的系统往往是难以避免的。进行 $n(n-1)/2$ 次比较可以提供更多的信息，通过对属性从各种不同的角度反复比较，从而导出一个合理的排序。

(3) 步骤三：层次单排序及一致性检验

如果我们要使用 AHP 的方法对 n 个属性进行权值的判断，那么将需要进行 $n(n-1)/2$ 次比较，如果我们把 a_{ij} 看做第 i 个属性和第 j 个属性权值的比值，把 a_{jk}

看做第 j 个属性和第 k 个属性权值的比值，那么从满足完全一致性的角度来看，需要第 i 个属性和第 k 个属性权值的比值是 $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ ，但实际上，我们通过两两比较出来的结果并不能完全满足这个等式，而是有一定的偏差，这个偏差只要在一定的范围内是可以接受的，但是如果偏差过大是不合乎常理的，例如：如果我们认为属性 i 比属性 j 明显重要，属性 j 比属性 k 明显重要，却又认为属性 k 比属性 i 明显重要这样的比较结果显然是不符合常理，对于这种情况，我们需要对构造的两两比较矩阵做进一步调整，使其最终满足一致性要求的范围。

进行成对比较得到的矩阵通常并不是完全的一致阵，但是只要不一致程度在允许的范围内，就是可以接受的，那么怎么确定这个范围呢？当矩阵满足一致性条件时， n 是该矩阵唯一的一个非零特征值，也就是当特征值 $\lambda=n$ 时，矩阵 A 是一致阵，如果 A 不是一致阵，那么其特征值 λ 比 n 大得越多，不一致程度也就越严重，Saaty 将 $CI = \frac{\lambda - n}{n-1}$ 定义为一致性判断的指标，当 $CI=0$ 时， A 为一致矩阵，当 CI 越大时，矩阵 A 的不一致程度就越严重。 A 的 n 个特征值之和等于 A 的主对角线上元素之和，而 A 的主对角线上的元素均为 1，所以 A 的特征值之和为 n 。由此可以知道，一致性指标 CI 相当于矩阵 A 除 λ 以外其余 $n-1$ 个特征值的平均值。为了确定矩阵 A 不一致程度的容许范围，需要找出衡量矩阵 A 的一致性指标 CI 的标准，为此 Saaty 引入了随机一致性指标 RI ，他通过很多随机样本针对不同的 n 值构造出了对应的 RI 值，例如当 $n=1,2$ 时， $RI=0$ ，当 $n=3$ 时， $RI=0.58$ ，当 $n=4$ 时， $RI=0.90$ ，当 $n=5$ 时， $RI=1.12$ 。

将一致性指标 CI 与同阶（指 n 相同）的随机一致性指标 RI 之比，定义为一致性比率，记做 CR ，当 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$ 时，我们认为该矩阵 A 的不一致程度在容许范围内，可以用其最大特征值所对应的特征向量作为权向量。否则就要重新进行成对比较，对矩阵 A 进行调整，直到满足一致性要求为止。

(4) 层次总排序及一致性检验

所谓层次总排序，就是确定某层所有属性对于总目标相对重要性的排序权值过程，如果我们设第一级有 m 个属性 A_1, A_2, \dots, A_m ，其权重分别为 w_1, w_2, \dots, w_m ，

设第二级中 n 个属性 B_1, B_2, \dots, B_m 对其上一级属性 A_j 的层次单排序分别为 $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm}$ ，那么属性 A_j 的子属性的层次总排序为： $w_j w_{j1}, w_j w_{j2}, \dots, w_j w_{jm}$ ，其它属性层次总排序的计算也类似。

下面我们对层次总排序进行一致性检验，设第二级中属性 B_1, B_2, \dots, B_m 对上一级中属性 A_j 的层次单排序一致性指标为 CI_j ，随机一致性指标为 RI_j ，则层次总

排序的一致性比率为 $CR = \frac{w_1CI_1 + w_2CI_2 + \dots + w_mCI_m}{w_1RI_1 + w_2RI_2 + \dots + w_mRI_m}$, 当 $CR \leq 0.1$ 时, 认为层次

总排序通过一致性检验, 一般情况下, 如果每个单层次一致性指标均远小于 0.1, 那么层次总排序总会通过一致性检验。

我们这里所用到的属性权值计算方法并不仅基于 AHP 算法, 而是考虑到了业务类型和终端移动情况对不同属性权值的影响, 能够更适合解决多域广播组播网络中的切换过程中的网络选择问题。在为不同属性分配权值后, 就需要使用 ITOPSIS 算法为候选网络排序, 从而选择相对最优的网络执行切换的判决, 下面我们将对 MADM 中的排序算法(主要是 TOPSIS 算法和 ITOPSIS 算法)进行介绍。

4.1.4 MADM 中网络排序算法

先通过 AHP 算法计算出来不同属性的权值, 然后就需要基于这些权值和属性值进行网络的排序, 从而从候选网络中选择出来最优的网络。在 MADM 中很多文献为解决网络的排序提出了不同的算法, 包括 SAW^[48]、MEW^[49]、GRA^[50] 和 TOPSIS^[51]等。其中第 i 个候选网络采用 SAW 的总值计算方法如式(4-1)所示, 其中的 w_j 表示第 j 个属性的权值, $v_{i,j}$ 表示第 i 个网络中第 j 个属性的分配值。如果要使用线性加权法进行计算, 要求不同属性之间应该是独立的, 否则的话会由于信息的重叠而导致计算不准确。使用线性加权法的不足是不同的属性值之间存在线性补偿问题, 一些属性值的下降, 可以通过其他一些属性值的增长得到补偿, 导致最终评价值保持不变, 也就是一些特定属性的取值, 会掩盖其他一些属性的不足, 这样的话, 无法从综合评价值反映真实的属性间的关系。

$$C_{SAW,i} = \sum_{j=1}^n w_j v_{i,j} \quad \text{式 (4-1)}$$

而第 i 个候选网络采用 MEW 算法得到的总值计算如式(4-2)所示, 其中 w_j 表示第 j 个属性的权值, $v_{i,j}$ 表示第 i 个网络中第 j 个属性的分配值。MEW 和 SAW 具有类似的特性, 另外, 在 MEW 中, 值趋于 0 的属性对于总的代价值有比较大的影响, 有可能会严重扭曲总的性能评估。

$$C_{MEW,i} = \prod_{j=1}^n v_{i,j}^{w_j} \quad \text{式 (4-2)}$$

GRA 算法用来描述每个候选网络和最佳网络之间的相似度, 其中的最佳网络是对每一个属性取最佳值而得出来的理想网络情况, 第 i 个候选网络采用 GRA

算法所得到的总值表示如式(4-3), 其中 w_j 表示第 j 个属性的权值, $v_{i,j}$ 表示第 i 个网络中第 j 个属性的分配值, R_j 表示第 j 个属性的理想值。如果我们把所有的“越大越好”的属性标准改为“越小越好”, R_j 将会非常小, 那么 GRA 算法中用实际值和理想值之差的绝对值来衡量相似度的意义也就没有了, 在这种情况下, 我们可以看到 GRA 和 SAW 具有相似的性能。

$$C_{GRA,i} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n w_j |v_{i,j} - R_j| + 1} \quad \text{式 (4-3)}$$

TOPSIS 算法用来选择和最优参考值欧式距离最小, 而离最差参考值欧式距离最大的网络, 第 i 个候选网络采用 TOPSIS 算法所得到的总值表示如式(4-4), 其中 S_i^+ 表示候选网络与理想参考值之间的欧式距离, 而 S_i^- 表示最优网络与最差参考值之间的欧式距离。 C_{TOP} 的值越大, 表明该候选网络离最差参考值欧式距离更远, 而离最优参考值欧式距离更近; 反之, 亦然。

$$C_{TOP,i} = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad \text{式 (4-4)}$$

综上几种 MADM 算法, SAW 可以被认为是 TOPSIS 的一种特例, 因为, 如果我们假设候选网络和理想参考值欧式距离最近时, 而离最差参考值欧式距离也最远, 那么可以认为 TOPSIS 和 SAW 是一致的, 但是这种假设在欧式空间中并不能够一定成立, 所以与 SAW 相比较, TOPSIS 的性能可以比 SAW 更好。综上对 MADM 中几种算法的比较, 从理论上讲, TOPSIS 算法可以更有效选择出最优的网络, 所以下面我们对 TOPSIS 算法做进一步介绍。

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 算法是由 Yoon 和 Hwang 提出来的 MADM 算法。TOPSIS 算法的假设是这样的, 最好的网络是离最优参考值欧式距离最小, 而离最差参考值欧式距离最大的网络, 而最差的网络是离最优参考值欧式距离最大, 而离最差参考值欧式距离最小的网络, 这里的距离是由欧式距离定义的。下面对 TOPSIS 算法的几个步骤进行具体分析。

(1) 步骤一: 假设有 m 个候选网络, 每个网络对应 n 个属性值, 我们可以使用上一小节中的 AHP 算法为不同的属性分配权值, 得到的权值向量表示如下:

$$W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_j \ \dots \ w_n] \quad \text{式 (4-5)}$$

其中, 对于任意第 i 个网络, 不同属性所对应的权值需要符合下面的条件:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1.$$

而对于这里我们需要分析的不同网络的原始属性值，我们把其分为两种，分别是收益属性和代价属性，对于收益属性，即对网络的选择有积极影响的属性，其值越大越好，而对于代价属性，也就是对网络选择有消极影响的属性，其值越小越好。为了达到计算的一致性，我们需要把这两种属性进行一致性趋势处理，也就是把收益属性值转换成代价属性值，或者是把代价属性值转换成收益属性值，这里我们是把代价属性值转换成收益属性值，设第 i 个候选网络的第 j 个原始属性值是 x_{ij}^+ ，经一致趋势处理后的值是 x_{ij} ，具体处理过程为：如果该属性是收益属性，那么 $x_{ij} = x_{ij}^+$ ；如果该属性是代价属性，那么 $x_{ij} = 1/x_{ij}^+$ 。经过一致性趋势处理后的属性值所对应矩阵 X 为：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \quad \text{式 (4-6)}$$

(2) 步骤二：为了对这些属性进行比较，我们除了要对这些属性进行一直趋势处理外，由于这些属性值的尺度大小存在很大的差异，那么我们还要消除这些属性值尺度大小的差异对总的评价体系的影响，具体计算方法如式 (4-7) 所示，其中的 r 表示归一化的属性值，它处于 0~1 之间。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{式 (4-7)}$$

(3) 步骤三：利用式 (4-6) 和 (4-7)，计算经过加权后的归一化判决矩阵 V ，矩阵 V 的表达式如下：

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_j r_{1j} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_j r_{2j} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_j r_{mj} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{式 (4-8)}$$

(4) 步骤四：在 TOPSIS 算法中，定义了两个值 A^+ 和 A^- ，分别为：

$$A^+ = \{\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij}, (j=1,2,\dots,n)\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad \text{式 (4-9)}$$

$$A^- = \{\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}, (j=1,2,\dots,n)\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad \text{式 (4-10)}$$

其中 A^+ 和 A^- 分别被认为是所有候选网络中所有最优和最差的属性向量。

(5) 步骤五：在 TOPSIS 算法中，任意候选网络和最优属性向量 A^+ 之间的欧式距离计算如式 (4-11)：

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^+ - v_{ij})^2}, \quad i=1,2,\dots,m. \quad \text{式 (4-11)}$$

任意候选网络和最差属性向量 A^- 之间的欧式距离计算如式 (4-12)：

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^- - v_{ij})^2}, \quad i=1,2,\dots,m. \quad \text{式 (4-12)}$$

(6) 步骤六：第 i 个候选网络的偏爱水平 C_i 定义如下：

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad \text{式 (4-13)}$$

(7) 步骤七：基于不同候选网络的偏爱水平 C_i 对候选网络进行排序。显然当 $A_i = A^+$ 时， $C_i = 1$ ；当 $A_i = A^-$ 时， $C_i = 0$ ；任意候选网络对应 C 的值越大，该网络也就具有更优的选择价值。

TOPSIS 算法存在的一个问题就是排序结果容易产生不规则性。排序不规则问题是指如果在多个候选网络中，删除其中一个或者新加入一个将会影响其他候选网络的排序。例如，如果存在一个候选网络的排序是 ABCD，但是当网络 C 因为某种情况无法被排除在候选网络之外，那么剩余候选网络的排序成了 BAD，也就是由于 C 网络被排除，网络 A 和 B 的顺序发生反转，这显然是不符合预期的。为了解决这个问题，文献[54]提出一种机制来解决 TOPSIS 中的排序不规则问题，他所采取的方法是把所有网络排序完成后，把最差的候选网络去除，再把剩余的候选网络重新排序，直到选出一个最优网络为止。文献[54]对 TOPSIS 的计算结果做进一步的处理，如图 4-3 所示。

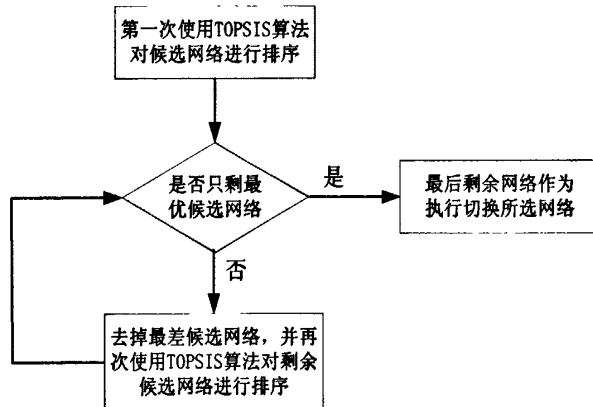


图 4-3 改进的 TOPSIS 算法流程

按照图 4-3 所示算法流程对 TOPSIS 计算结果做进一步处理后，可以排除较差网络的干扰，从而有效克服 TOPSIS 算法中的排序不规则问题，不过文献[54]对于不同属性的权值分配问题考虑并不全面。

综合以上研究，为了使终端在进行网络接入和切换判决时选择最合适的网络，采取的具体步骤为：首先，终端基于其所支持的 802.21 MIHF 模块获得多域广播组播网络中不同网络的信息，并从这些信息得到影响网络选择的不同属性；然后为这些属性分配权值，我们这里使用 AHP 算法来为不同属性分配权值，同时考虑到了不同业务类型和终端移动情况等因素对于权值计算的影响；最后，结合不同属性的具体数值，采用改进的 TOPSIS 算法（ITOPSIS）对不同的网络进行排序，从而选择相对最优的网络执行切换，这里的 ITOPSIS 算法主要是解决传统 TOPSIS 算法中的排序不规则问题。

4.2 多域广播组播网络中的混合 AHP 和 ITOPSIS 网络选择模型

在前面我们已经介绍了由 AHP 和 RTOPSIS 算法进行多属性选择的基本原理，现在我们将把这种算法应用于多域广播组播网络的选择中。如图 4-4 所示，我们把决定网络选择的属性归结为五种：即业务的 QoS、覆盖范围、功耗、费用和网络对交互性的支持；QoS 属性又由四种二级属性组成：即带宽、时间、信噪比和包错误率；时间属性又由延迟和抖动决定。

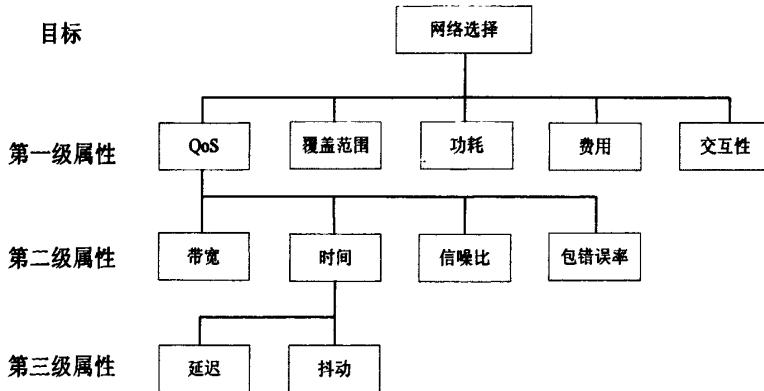


图 4-4 多域广播组播系统中 AHP 算法中的层次结构模型

在这里我们的决策目标并不仅仅是为了取得 QoS 指标的最优，而是增加了覆盖范围、功耗和交互性对决策的影响，这是因为对于广播组播业务来讲，由于终端在接收这种业务的时候，消耗的功率往往比较大，这将在很大程度影响用户的满意度，所以在做网络选择的时候应该考虑采用不同网络接收模式下功率消耗的影响；另外终端的移动性也是一个需要重点考虑的指标，这是因为我们这里考虑可以提供相应广播组播业务的网络包括了 WLAN、E-MBMS 和 DVB-H 等，

由于这些不同网络的覆盖面积存在很大差异，如果用户移动速度比较快，应该优先选择覆盖范围比较大的网络，只有这样才能够避免频繁的切换，反之如果用户的移动速度不是很快，终端选择 WLAN 这种覆盖范围比较小的网络并不会导致切换的频繁发生，可见终端的移动速度对于网络的选择是有影响的，因此这里我们考虑在不同的移动速度时，为覆盖范围属性权值赋予不同的权值；另外就是需要考虑不同网络模式对业务交互性的支持，例如单纯的 DVB-H 网络并不能够支持业务交互性，往往需要 WLAN 或者蜂窝网络来提供对上行业务的支持，因此在提供对交互性业务的支持时，应该考虑到不同网络模式对于业务交互性的支持。不同的业务需求会导致属性权值的变化，为了简便起见，本文只考虑广播组播业务中的两大类，一类是需要交互性的视频流业务，另一类是不需要交互性的视频流业务。

下面我们基于不同的业务类型对网络选择属性的权值进行分析和计算。

4.2.1 网络选择属性权值的确定

在前面的内容中，我们已经对计算权值所用到的 AHP 算法进行了介绍，下面，我们将以多域广播组播环境下的不同类型业务为基础对网络选择属性权值进行分析。

4.2.1.1 非交互性业务

我们使用 AHP 算法对非交互性业务中的不同属性的权值进行计算，下面是具体的步骤：

(1) 在第一级属性中我们需要考虑 QoS、覆盖范围、功耗、费用和交互性这五个属性值的权值，不过由于该业务是非交互性业务，那么交互性属性的权值非常小。由于终端移动情况对覆盖范围属性值存在影响，这里我们先对终端处于室内环境下的权值利用 AHP 算法进行分析。

表 4-2 第一级属性比较矩阵以及权值计算结果

属性	QoS	覆盖范围	功耗	费用	交互性	属性权值
QoS	1	3	4	2	9	0.4525
移动性	1/3	1	1	1/2	3	0.1349
功耗	1/4	1	1	1/2	2	0.1173
费用	1/2	2	2	1	5	0.2447
交互性	1/9	1/3	1/2	1/5	1	0.0505

表 4-2 是比较矩阵，这里我们认为 QoS 的重要性是最大的，QoS 与覆盖范围相比较稍重要，覆盖范围和功耗的重要性差不多，费用比功耗更重要，列出以上比较矩阵，得出最大特征值为 $\lambda=5.0175$, $CI=\frac{\lambda-n}{n-1}=\frac{5.0175-5}{5-1}=0.0044$, $CR=\frac{CI}{RI}=\frac{0.0044}{1.2}=0.0037 < 0.1$ ，满足一致性条件，最后求得不同属性的权值如表 4-2 最后一列所示。

(2) 然后对第二级属性进行计算，第二级属性都是 QoS 的子属性，包括信噪比、带宽、包错误率和时间四个属性值，列出比较矩阵并计算出属性权重如表 4-3 所示：

表 4-3 QoS 对应第二级属性比较矩阵与权值计算结果

属性	带宽	时间	信噪比	包错误率	属性权值
带宽	1	1/3	1/5	1/5	0.0704
时间	3	1	1/2	1/2	0.1929
信噪比	5	2	1	1	0.3683
包错误率	5	2	1	1	0.3683

针对表 4-3 中的比较矩阵，计算出最大特征值为 $\lambda=4.0062$, $CI=\frac{\lambda-n}{n-1}=\frac{4.0062-4}{4-1}=0.0014 < 0.1$, $CR=\frac{CI}{RI}=\frac{0.0014}{1.2}=0.0012 < 0.1$ 满足一致性条件，最后求得不同属性的权重如表 4-3 最后一列所示。

(3) 下面对第三级属性进行计算，权值计算结果如表 4-4 所示：

表 4-4 时间对应第三级属性权值

属性	属性权值
延迟	0.5000
抖动	0.5000

(4) 最后，我们要进行层次总排序及一致性检验，层次总排序结果如式 (4-14) 所示：

$$W_1 = \begin{bmatrix} w_{de} \\ w_{ji} \\ w_{br} \\ w_{sn} \\ w_{pe} \\ w_{mo} \\ w_{pu} \\ w_{co} \\ w_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4525 * 0.1929 * 0.5000 \\ 0.4525 * 0.1929 * 0.5000 \\ 0.4525 * 0.0704 \\ 0.4525 * 0.3683 \\ 0.4525 * 0.3683 \\ 0.1349 \\ 0.1173 \\ 0.2447 \\ 0.0505 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0436 \\ 0.0436 \\ 0.0319 \\ 0.1667 \\ 0.1667 \\ 0.1349 \\ 0.1174 \\ 0.2447 \\ 0.0505 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{延迟} \\ \text{抖动} \\ \text{带宽} \\ \text{信噪比} \\ \text{包错误率} \\ \text{覆盖范围} \\ \text{功耗} \\ \text{费用} \\ \text{交互性} \end{array} \quad \text{式 (4-14)}$$

最后需要对层次总排序进行一致性检验，由于每一层的单层次排序中一致性比率远远小于 0.1，显然，层次总排序也是符合一致性的。

4.2.1.2 交互性业务

对于交互性业务，我们这里需要考虑到交互性属性，DVB-H 不支持交互性，而 WLAN 和 UMTS 是支持交互性的，另外并且我们这里考虑的仍然是终端处于室内环境。下面仍然分几个步骤进行分析。

(1) 这里考虑到交互性的影响，列出两两比较矩阵并计算出权值，如表 4-5 所示。

表 4-5 第一级属性比较矩阵以及权值计算结果

属性	QoS	覆盖范围	功耗	费用	交互性	属性权值
QoS	1	4	5	2	2	0.4017
覆盖范围	1/4	1	1	1/2	1/2	0.0962
功耗	1/5	1	1	1/3	1/2	0.0862
费用	1/2	2	3	1	1/2	0.1869
交互性	1/2	2	2	2	1	0.2290

表 4-5 是比较矩阵，这里考虑到了交互性对于网络选择的影响，我们认为 QoS 在第一级属性中是最重要的，由于需要支持交互性的业务，QoS 的重要性提高，列出以上比较矩阵，得出最大特征值为 $\lambda = 5.1010$ ，
 $CI = \frac{\lambda - n}{n-1} = \frac{5.1010 - 5}{5-1} = 0.0253$ ，
 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0253}{1.2} = 0.0211 < 0.1$ ，满足一致性条件，最后求得不同属性的权重如表 4-5 最后一列所示。

(2) 然后对第二级属性进行计算，与非交互性业务中的计算方式类似，列出比较矩阵并计算出属性权值如表 4-6 最后一列所示：

表 4-6 QoS 对应第二级属性比较矩阵与权值计算结果

属性	带宽	时间	信噪比	包错误率	属性权值
带宽	1	1/4	1/5	1/5	0.0632
时间	4	1	1/3	1/3	0.1647
信噪比	5	3	1	1	0.3861
包错误率	5	3	1	1	0.3861

针对表 4-6 中的比较矩阵，我们计算出的最大特征值为 $\lambda = 4.0324$ ，
 $CI = \frac{\lambda - n}{n-1} = \frac{4.0973 - 4}{4-1} = 0.0324 < 0.1$ ，
 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0324}{0.9} = 0.0360 < 0.1$ 满足一致性条件，最后求得不同属性的权值如表 4-6 最后一列所示。

(3) 时间属性对应第三级属性中的权值如表 4-7 所示:

表 4-7 时间对应第三级属性权值

属性	属性权重
延迟	0.5000
抖动	0.5000

(4) 最后进行层次总排序及一致性检验, 层次总排序结果如下: 对所有权值进行汇总, 得到最后的权值矩阵如式 4-15 所示, 并且该层次总排序符合一致性检验。

$$W_2 = \begin{bmatrix} w_{de} \\ w_{ji} \\ w_{br} \\ w_{sn} \\ w_{pe} \\ w_{mo} \\ w_{pu} \\ w_{co} \\ w_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4017 * 0.1647 * 0.5000 \\ 0.4017 * 0.1647 * 0.5000 \\ 0.4017 * 0.0632 \\ 0.4017 * 0.3861 \\ 0.4017 * 0.3861 \\ 0.0962 \\ 0.0862 \\ 0.1869 \\ 0.2290 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0331 \\ 0.0331 \\ 0.0254 \\ 0.1551 \\ 0.1551 \\ 0.0962 \\ 0.0862 \\ 0.1869 \\ 0.2290 \end{bmatrix} \quad \text{式 (4-15)}$$

4.2.2 基于终端移动速度的权值

另外, 在这里我们还考虑到了终端移动情况对于网络选择的影响。关于终端移动情况对网络选择的影响, 设想在特定的移动情况下, 不同覆盖范围的网络所受到的影响是不一样的, 对于 WLAN、UMTS 和 DVB-H 三种网络, 在同样的移动情况下, 终端更容易移出 WLAN 的覆盖范围, 而很难移出 DVB-H 的覆盖范围, 可见终端在不同移动情况下, 不同网络中覆盖范围属性的权值应该是不一样的, 我们把终端移动情况分为三个级别, 分别是: 室内环境, 步行环境和车载环境, 由于在室内环境下, 网络覆盖范围对于网络选择没有太大影响, 我们认为在这种情况下, 这三种网络对应的覆盖范围属性权值是一样的。在步行环境下, WLAN、UMTS 和 DVB-H 这三种不同覆盖范围的网络所对应的覆盖范围属性权值略有不同, 而在车载环境下, 这三种不同网络所对应的覆盖范围属性权值会有较大不同, 为了简便起见, 对于步行环境和车载环境下的覆盖范围属性权值都是根据室内环境下该属性的权值基础上进行计算的。在上一小节中, 我们是基于终端处于室内环境情况得到的权值, 实际上, 在多域广播组播系统中, 终端的移动速度对于覆盖范围属性的权值有比较大的影响, 如果在终端处于快速移动的情况

下提高覆盖范围属性的权值，那么通过权重的设置就可以减少切换次数。我们把基于业务类型和网络移动情况可以把权值的计算归结为以下几种类型：

- (1) 非交互式业务，室内环境，不同网络对应的属性权重 W_1 。
- (2) 交互式业务，室内环境，不同网络对应的属性权重 W_2 。
- (3) 非交互式业务，步行环境，不同网络对应的属性权重 $W_{1,p}$ 。
- (4) 交互式业务，步行环境，不同网络对应的属性权重 $W_{2,p}$ 。
- (5) 非交互式业务，车载环境，不同网络对应的属性权重 $W_{1,c}$ 。
- (6) 交互式业务，车载环境，不同网络对应的属性权重 $W_{2,c}$ 。

为了简单起见，我们以前面所计算的终端处于室内环境下计算的覆盖范围属性的权值为基础，在终端处于步行环境下，网络覆盖范围属性增加的倍数为 α ；当终端处于车载环境下，网络覆盖范围属性增加的倍数为 β 。如果覆盖范围属性的权值以一定的倍数增加，那么其它属性的权值应该在保持相对比例不变的前提下减少。设终端处于室内环境时得到的权值表示如式（4-16）。

$$W = \begin{bmatrix} w_{de} \\ w_{ji} \\ w_{br} \\ w_{sn} \\ w_{pe} \\ w_{mo} \\ w_{pu} \\ w_{co} \\ w_{in} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{延迟} \\ \text{抖动} \\ \text{带宽} \\ \text{信噪比} \\ \text{包错误率} \\ \text{覆盖范围} \\ \text{功耗} \\ \text{费用} \\ \text{交互性} \end{array} \quad \text{式 (4-16)}$$

终端在车载环境下，覆盖范围属性权值增加的倍数为 β ，其它属性的权值应该在保持相对比例不变的前提下减少，那么终端处于车载环境下的权值计算如式（4-17）所示：

$$W' = \begin{bmatrix} w_{de} \\ w_{ji} \\ w_{br} \\ w_{sn} \\ w_{pe} \\ w_{mo} \\ w_{pu} \\ w_{co} \\ w_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{de} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{ji} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{br} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{sn} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{pe} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{mo} * (1+\beta) \\ w_{pu} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{co} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \\ w_{in} * \frac{1-w_{mo}(1+\beta)}{1-w_{mo}} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{延迟} \\ \text{抖动} \\ \text{带宽} \\ \text{信噪比} \\ \text{包错误率} \\ \text{覆盖范围} \\ \text{功耗} \\ \text{费用} \\ \text{交互性} \end{array} \quad \text{式 (4-17)}$$

我们以终端处于车载环境，使用非交互业务为例，终端在车载环境下不同属性对应的权值计算如式（4-18）。

$$W_i = \begin{bmatrix} w_{d} \\ w_{j} \\ w_{b} \\ w_{m} \\ w_{p} \\ w_{c} \\ w_{r} \\ w_{n} \\ w_{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0331 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.0331 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.0254 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.1551 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.1551 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.0962 * (1 + \beta) \\ 0.0862 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.1869 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \\ 0.2290 * \frac{1 - 0.0962(1 + \beta)}{1 - 0.0962} \end{bmatrix}$$

	延迟
	抖动
	带宽
	信噪比
	包错误率
	覆盖范围
	功耗
	费用
	交互性

式 (4-18)

总之，我们这里使用 AHP 的算法并结合业务类型和终端移动速度对多域广播组播网络中的网络选择属性权值进行计算，这样可以为网络选择的个属性分配合理的权值，并有效克服频繁的切换问题。

4.2.3 使用 ITOPSIS 算法进行最优网络的选择

前面我们已经使用 AHP 算法并结合业务类型和终端移动情况对网络选择的属性权值进行了研究，然后把不同候选网络的属性数值代入到 4.1.4 小节中的计算公式（4-6）-（4-13），就可以得到候选网络的排序，然后我们再利用图 4-3 中改进的 TOPSIS 算法流程，就可以在融合网络环境下选择出最优的网络。

4.3 AHP 和 ITOPSIS 应用于多域广播组播网络选择

前面我们已经就多域广播组播中的属性权值问题进行了分析，下面我们基于属性的权值，利用 ITOPSIS 算法进行网络选择。以下将通过几个场景，研究采用 AHP 和 ITOPSIS 进行网络选择时的判决策略。

4.3.1 场景一：存在两个候选网络时的室内环境

场景一：用户正在室内使用一种需要交互性的手机电视业务，在这种情况下，有两个网络可以选择，即网络#1（DVB-H）和#2（UMTS），终端需要优化选择和接入一个合适的网络。

表 4-8 场景一中的属性数值

备选网络	延迟 (ms)	抖动 (ms)	带宽 (MHz)	信噪比 (dB)	包错误率 10^{-5}	覆盖范围 (Km)	功率消耗 (mW)	费用 (Per kbyte)	交互性
#1(DVB-H)	500	70	5	10	10^{-5}	10	60	5	2
#2(UMTS)	800	60	5	14	10^{-5}	3	250	9	10

在场景一的情况下，我们对决定网络选择的属性值设定如表 4-8 所示，其中假定由于在室内，DVB-H 覆盖不如 UMTS 方式覆盖好，不过由于 DVB-H 采用了 MPE/FEC 的纠错方式，所以其包错误率相对 UMTS 并不差；在功率消耗方面，DVB-H 采用了分片接收的方式，相对于 UMTS 中的 MBMS 采用的 DRX（非连续接收），省电效果更明显。另外 DVB-H 在费用方面比 MBMS 低；不过 DVB-H 不支持交互性，但终端仍然可以采用 DVB-H 接收交互性信息，这是因为可以采用包括 UMTS 和 WLAN 在内网络的上行信道来支持交互式业务，但是在支持交互性方面的成本肯定会高于 UMTS 中的 MBMS 方式。

根据式 (4-15) 中终端使用交互式业务，并在室内环境下的权值计算结果，并代入我们所提出的 ITOPSIS 算法，可以得到表 4-9 中的排序结果，这样终端会选择 UMTS 网络作为接入的网络。

表 4-9 使用交互业务时的网络排序

候选网络	排序结果	
#1	$C_{\#1} = 0.3445$	
#2	$C_{\#2} = 0.6555$	$N_{\#2} > N_{\#1}$

另外，基于场景一中室内环境下的属性数值，如果我们接收非交互性业务，可以得到表 4-10 中的排序结果，在这种情况下终端会选择 DVB-H 作为接入网络。

表 4-10 使用非交互业务时的网络排序

候选网络	排序结果	
#1	$C_{\#1} = 0.7034$	
#2	$C_{\#2} = 0.2966$	$N_{\#1} > N_{\#2}$

可见把“交互性”属性引入属性权值的计算，对于网络的选择具有很大的影响，在使用非交互性业务时，虽然 DVB-H 具有比 UMTS 更大的优势，但是在同样的网络环境下，如果使用交互业务，由于 DVB-H 只有下行信道，优先选择的将是 UMTS 网络。

4.3.2 场景二：存在两个候选网络时的步行环境

在场景二中，用户处于步行环境下，并使用非交互业务，假设当前的终端可以连接的网络是 WLAN 和 UMTS，在场景二中的属性值如表 4-11 所示：

表 4-11 场景二中的属性数值

备选网络	延迟 (ms)	抖动 (ms)	带宽 (MHz)	信噪比 (dB)	包错误率 3×10^{-5}	覆盖范围 (Km)	功率消耗 (mW)	费用 (Per kbyte)	交互性
#2(UMTS)	900	80	5	14	3×10^{-5}	3	250	9	10
#3(WLAN)	500	60	2	12	4×10^{-5}	0.3	300	1	9

在步行环境中，我们考虑到终端移动情况对覆盖范围属性的影响，令覆盖范围属性的权值在其他属性权值相互之间比例保持不变的情况下递增一定的倍数 α ，图 4-5 是考察步行环境中倍增比例 α 对网络选择的影响。可以看到当 $\alpha < 0.6$ 时，选择 WLAN 网络作为最优网络，但是当 $\alpha > 0.6$ 时，选择 UMTS 作为最优网络，在第三章构建的多域广播组播网络中，以网络为起始的切换判决可以根据图 4-4 所得到的结果为 α 取合适的值，从而更好地结合业务类型和终端移动特性执行网络选择。

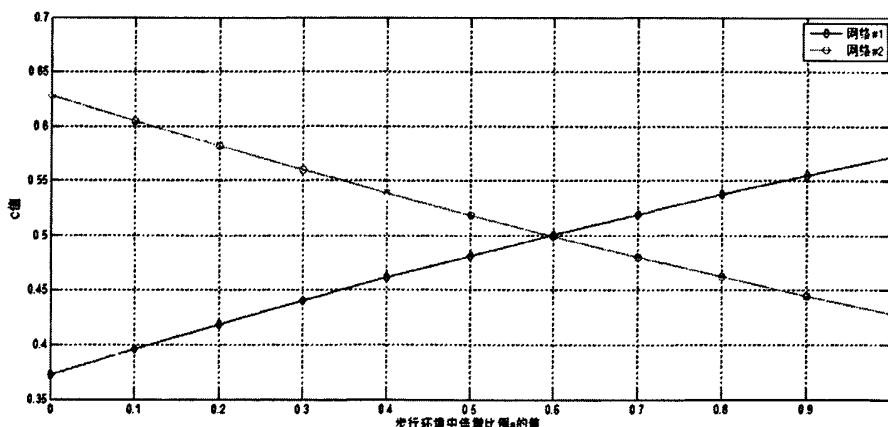


图 4-5 步行环境中倍增比例 α 与网络选择的关系

4.3.3 场景三：存在三个候选网络时的车载环境

场景三：用户在车载环境下接收非交互业务，假设在某个位置终端的候选网络及其属性值如表 4-12 所示：

表 4-12 场景三中的属性数值

备选网络	延迟 (ms)	抖动 (ms)	带宽 (MHz)	信噪比 (dB)	包错误率 10^{-4}	覆盖范围 (Km)	功率消耗 (mW)	费用 (Per kbyte)	交互性
#1(DVB-H)	800	90	5	11	10^{-4}	10	100	6	2
#2(UMTS)	1000	100	5	13	1.3×10^{-4}	3	250	9	10
#3(WLAN)	600	80	2	10	2×10^{-4}	0.3	300	1	9

如果我们不在终端处于车载环境下增加覆盖范围属性的权值，也就是令 $\beta=0$ ，那么使用 ITOPSIS 算法结果如表 4-13 所示，可见 WLAN 将是候选网络。

表 4-13 不考虑终端移动情况下的网络排序

候选网络	第一轮排序结果		第二轮排序结果	
#1	$C_{#1} = 0.3279$	$N_{#3} > N_{#2} > N_{#1}$	$C_{#2} = 0.3601$	$N_{#3} > N_{#2}$
#2	$C_{#2} = 0.4326$		$C_{#3} = 0.6399$	
#3	$C_{#3} = 0.6582$			

如果考虑在终端移动速度提高的时候增加覆盖范围属性的权重，设增加的比例 $\beta=1.2$ ，这时，仍然采用 ITOPSIS 算法，网络排序结果如表 4-14 所示，可见这时，UMTS 将是候选网络。另外从表 4-14 可以看到，在第一轮排序结果中， $N_{#1} > N_{#3} > N_{#2}$ ，如果采用 TOPSIS 算法，肯定选择#1 作为最优网络，但是如果在第一轮排序中最差的候选网络#2 排除，再单纯对候选网络#1 和#3 进行比较，得到的结果是 $N_{#3} > N_{#1}$ ，通过第二轮的排序，网络#3 是最优网络，显然，在 TOPSIS 算法中，网络#2 参与到排序中对正确的排序结果产生了干扰，而在 ITOPSIS 算法中，排除了这种干扰，可以选择出真正最优的网络。

表 4-14 考虑终端移动情况下的网络排序($\beta=1.2$)

候选网络	第一轮排序结果		第二轮排序结果	
#1	$C_{#1} = 0.5202$	$N_{#1} > N_{#3} > N_{#2}$	$C_{#1} = 0.4998$	$N_{#3} > N_{#1}$
#2	$C_{#2} = 0.3910$		$C_{#3} = 0.5002$	
#3	$C_{#3} = 0.4732$			

如果进一步提高覆盖范围属性的权重，设增加的比例 $\beta=1.3$ ，这时，仍然采用 ITOPSIS 算法，网络排序结果如表 4-15 所示，可见这时，DVB-H 将是候选网络。

表 4-15 考虑终端移动情况下的网络排序($\beta=1.3$)

候选网络	第一轮排序结果		第二轮排序结果	
#1	$C_{\#1} = 0.5338$	$N_{\#1} > N_{\#3} > N_{\#2}$	$C_{\#1} = 0.5134$	$N_{\#1} > N_{\#3}$
#2	$C_{\#2} = 0.3869$			
#3	$C_{\#3} = 0.4599$		$C_{\#3} = 0.4866$	

根据表 4-13, 表 4-14 和表 4-15, 当终端处于车载环境下, 如果不考虑增加覆盖范围属性的影响, 那么根据 ITOPSIS 算法, 会选择 WLAN 网络作为最优网络, 但是在实际应用环境中, 这样可能会导致频繁的切换, 而如果在终端处于车载环境时, 把覆盖范围属性的权值增加一定的倍数, 可以使得终端更倾向于选择覆盖范围更大的网络, 如表 4-14 所示, 在设 $\beta=1.2$ 时, UMTS 是最优网络, 而如表 4-15 所示, 在设 $\beta=1.3$ 时, DVB-H 是最优网络, 可见 β 的值越大, 那么终端越倾向于选择覆盖范围更大的网络作为最优网络。当把 β 设置为足够大时, 就可以有效避免终端在高速移动下的频繁切换问题。

4.3.4 本章小结

为了解决上一章中融合广播组播网络中以网络为起始的网络选择优化问题, 提出结合 AHP 算法和 ITOPSIS 算法并考虑到终端业务类型和移动情况进行网络的选择。采用 AHP 算法为不同属性可以相对客观地分配权值, 而我们这里考虑到了终端业务类型和移动情况对属性权值的影响, 可以适应多域广播组播中多种业务的不同需求, 同时在终端处于高速移动情况下也可以避免频繁的切换。其中在场景一中, 验证了不同业务类型对网络选择的影响; 在场景二中, 对终端移动情况对网络选择的影响进行了验证, 并且为终端在步行环境下覆盖范围属性权值的倍增比例 ∂ 如何设定的问题进行了探讨; 在场景三中, 一方面是验证了终端移动速度对网络选择的影响, 另外还证明了采用 ITOPSIS 算法相比较传统 TOPSIS 算法的优势, 采用 ITOPSIS 算法为候选网络进行排序, 其整个计算过程也可以反映出候选网络之间真实的优劣关系, 排除不必要的干扰, 从而选择出真正最优的网络再执行切换判决, 为用户提供“总是最优连接服务”

第五章 总结与展望

5.1 本文所做研究工作总结

本文讨论了移动蜂窝广播组播网络和地面数字电视广播网络的混合组网技术，在对已有研究成果进行分析的基础上，结合对当前移动蜂窝网络中 MBMS/E-MBMS 技术和支持终端移动性的地面数字电视广播网络 DVB-H 技术的研究，提出引入 IEEE 802.21 工作组提出的媒介独立切换 MIHF 模块，将其部署到未来以 MBMS/E-MBMS 为主体网络，有机融合 DVB-H 技术的网络模型。最后，基于这种融合的网络架构，针对网络选择与优化策略进行了研究，提出使用 AHP 和 ITOPSIS 算法进行最优网络的选择。本文的具体研究工作总结如下：

(1) 总结了当前已经形成标准的移动蜂窝网络中的广播组播技术和支持终端移动性的地面广播网络技术，提出了以移动蜂窝网络中的 MBMS/E-MBMS 技术和地面广播网络中的 DVB-H 技术为研究重点，对这两种技术标准中的关键技术进行了分析与研究。

(2) 针对 IEEE 802.21 工作组提出的 MIHF 模块中的关键技术进行了研究，当前 IEEE 802.21 工作组正在进行 802.21 标准新的版本 802.21b 的研究工作，由于原有版本 802.21 只是对双向信道提供切换支持，其最新版本研究的一个主要工作包括了对单向广播网络的支持，所以本文也对如何把 802.21b 标准有机融合 E-MBMS 技术和 DVB-H 技术进行了探讨和研究，提出了基本的网络结构模型，并基于此网络架构给出了融合网络的通用切换流程。。

(3) 把多域移动广播组播网络中扩展 MCE 在切换执行之前所进行的网络优化选择问题归结为多属性判决算法中的问题，把 AHP 算法和改进的 TOPSIS 算法 (ITOPSIS) 相结合，并考虑到业务类型和终端移动情况对不同属性权值的影响，从而选择相对最优的网络来执行网络接入或切换。最后根据几个具体的场景对所采用的算法进行了验证和分析。

5.2 未来的工作展望

本文提出了针对 UMTS 中 E-MBMS 和 DVB-H 以及其他多种网络进行融合来提供广播组播业务的基本架构，并引入了 802.21 技术帮助执行切换，但是由于针对 E-MBMS 的标准仍然在不断的完善中，而且 802.21 技术也需要进一步的

演进为 802.21b 才能支持包括广播网络在内的融合与切换。所以本文只是给出了一个域广播组播网络融合的一个架构，更为详细的融合架构、消息格式与信令流程需要进一步的定义。

另外，在融合的多域广播组播网络的网络选择中，我们把业务类型和终端移动情况对属性权值的影响考虑在内，可以有效地协助终端切换到最优的网络，另外由于包括手机电视在内的多媒体数字业务对终端电量消耗比较大，所以在以后的研究中也应该考虑终端剩余电量对功耗属性权值的影响。总之，对于多域移动广播组播融合网络技术的研究是一个非常宽泛的课题，许多问题仍然需要进一步的研究。

参考文献

- [1] ETSI: EN 300 744 V1.5.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, 2004.6.
- [2] ETSI: TR 102 377 V1.3.1, Digital Video Broadcasting(DVB): DVB-H Implementation Guidelines, 2009.3.
- [3] MASAYUKI TAKADA, MASAFUMI SAITO, Transmission System for ISDB-T, Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 1, Jan. 2006, pp251-256.
- [4] GY/T 220.1, 移动多媒体广播_第1部分：广播信道帧结构、信道编码和调制，2006。
- [5] GY/T 220.2, 移动多媒体广播_第2部分：复用， 2006。
- [6] GY/T 220.3, 移动多媒体广播_第3部分：电子业务指南，2007。
- [7] GY/T 220.7, 移动多媒体广播_第7部分：接收解码终端技术要求，2008。
- [8] 手机电视/移动多媒体广播（T-MMB）总体技术要求（草案），2008.6。
- [9] 李智渊, 楼培德, CDMB 多媒体广播（手机电视）标准关键技术研究, 北京邮电大学
硕士研究生学位论文, 2008.3。
- [10] Murali R. Chari, Fuyun Ling, Ashok Mantravadi, FLO Physical Layer: An Overview IEEE
TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 53, No.1, Mar. 2007, pp145-160.
- [11] Gwangsoon Lee, Sammo Cho, Kyu-Tae Yang , Young Kwon Hahn, and Soo In Lee,
Development of Terrestrial DMB Transmission System based on Eureka-147 DAB System,
IEEE Transactions on Consumer Electronics, 66 Vol. 51, No. 1, FEBRUARY 2005, pp63-68.
- [12] GB20600-2006, 数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制， 2006.08。
- [13] TS 22.146, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS), 3GPP, 2008.6.
- [14] TS23.246 V9.3.0, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and
Functional Description (Release 9), 3GPP, 2009.9.
- [15] 沈嘉, 索士强, 全海洋等, 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计, 人民邮电出
版社, 2008.11。
- [16] 3GPP2 C.S0024-A v1.0, cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification, April
2004.
- [17] 3GPP2 C.S0054-A v1.0, cdma2000 High Rate Broadcast -Multicast Packet Data Air
Interface Specification, March 2006.
- [18] Christoph Heuck, Analysis of the performance of hybrid (broadcadmobile) networks, IEEE
International Symposium on Consumer Electronics, Sept.2004, pp503-508.

- [19] ETSI EN 301 790 V1.5.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems, 2009.5.
- [20] Weiwei Wang and Changjia Chen, Yunbao Zeng, Unified Radio Network for Broadcasting and Broadband Wireless Access, IEEE Communications Magazine, Aug. 2007, pp54-61.
- [21] Jani Peltotalo, Jarmo Harju, Marko Saukko, Lassi Väätämöinen, Imed Bouazizi And Igor Curcio, Personal Mobile Broadcasting based on the 3GPP MBMS System, MoMM'08, pp156-162.
- [22] N.Vulic, S.M.Heemstra de Groot and I.G.M.M. Niemegeers, DVB-H-UMTS Integration at Radio Access Level, VTC'2007, pp1250-1254.
- [23] A. Hornsby, S. Bangash, S. Benchimol, An Approach to Handover between DVB-H and Wi-Fi networks, 2008 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Mar. 2008, pp1 – 8.
- [24] Byoung-Dai Lee, Jaeyeon Song, and Young-Kwang Nam, Converged Mobile TV Services Supporting Rich Media in Cellular and DVB-H Systems, Trans. on Consumer Electronics, Aug. 2008, pp1091-1097.
- [25] OMA-TS-BCAST_Service_Guide-V1, Service Guide for Mobile Broadcast Services, Draft Version 1.1, May, 2009.
- [26] Ana Fernández Vilas, Rebeca P. Díaz Redondo, José J. Pazos Arias, Providing Web Services over DVB-H: Mobile Virtual Web Services, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 2, MAY 2007, pp644-652.
- [27] Daniel Morris, and A. Hamid Aghvami, A Novel Location Management Scheme for Cellular Overlay Networks, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 52, No. 1, Mar. 2006. pp108-115.
- [28] Daniel Morris and A. Hamid Aghvami, Location Management Strategies for Cellular Overlay Networks—A Signaling Cost Analysis, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 53, No.2, Jun. 2007, pp480-493.
- [29] Sang Hyuk Kang, Sujeong Choi, Seong Jong Choi, Scheduling Data Broadcast Based on Multi- Frequency in Mobile Interactive Broadcasting, IEEE Trans. On Broadcasting, Vol. 53, No. 1, Mar. 2007, pp405-411.
- [30] Lin Xiao, Qun Yang, Xuewen Zeng, Jinlin Wang, Time-shifting Proxy Resource Scheduling Strategy Based on Predictable User Behaviors, Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2008, pp766-770.
- [31] Adrian Hornsby, Imed Bouazizi, Irek Defee, Notifications: Simple and Powerful Enhancement for Services over DVB-H, ISCE'2008, pp1-4.

- [32] Carol Rus, Kalervo Kontola, Igor D.D. Curcio, and Irek Defee, Mobile TV Content to Home WLAN, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 3, Aug. 2008, pp1038-1041.
- [33] ETSI TR 102 469 V1.1.1, Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture, 2006.5.
- [34] IETF RFC3926, FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport, Oct. 2004.
- [35] IETF RFC3940, Negative-acknowledgment (NACK)-Oriented Reliable Multicast (NORM) Protocol, Nov. 2004.
- [36] Zhisheng Niu, Long Long, Jian Song, and Changyong Pan, A New Paradigm for Mobile Multimedia Broadcasting Based on Integrated Communication and Broadcast Networks, IEEE Communications Magazine, July 2008, pp126-132.
- [37] Teodor Buburuzan, Gunther May, Telemaco Melia, etc. Integration of Broadcast Technologies with Heterogeneous Networks-An IEEE 802.21 Centric Approach, ICCE'2007, pp1-2.
- [38] Miguel Almeida, Susana Sargent, and Rui Luis Aguiar, Limitations of the Integration of DVB Technologies in a Heterogeneous Environment, IEEE, 2008.
- [39] IEEE, Media Independent Handover Services, IEEE Computer Society, 11 November 2008.
- [40] Burak Simsek, Juan Carlos Zuniga, Use Cases and Requirements for Handovers with Broadcast Services, July 15, 2009.
- [41] Hongseok Jeon, Junghoon Jee, Eunah Kim, etc. IEEE 802.21 session #35 in ATLANTA, Nov. 8, 2009.
- [42] Buburuzan T, May G, Melia T, etc. Integration of Broadcast Technologies with Heterogeneous Networks - An IEEE 802.21 Centric Approach. Consumer Electronics, 2007. ICCE 2007. Digest of Technical Papers. International Conference on 10-14 Jan. 2007 Page(s): 1 – 2.
- [43] P. Chan, R. Sheriff, Y. Hu, Mobility management incorporating fuzzy logic for a heterogeneous IP environment, IEEE Communications Magazine 39 (12)(2001)42-51.
- [44] E. Stevens-Navarro, V. Wong, comparision between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference(VTC-Spring), vol. 2, 2006, pp. 947-951.
- [45] E. Stevens-Navarro and V. Wong, Comparision between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks, Proc. of IEEE VTC'06-Spring, Melbourne, Australia, May 2006.

- [46] Q. Song, A. Jamalipour, Network Selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computer techniques, IEEE Wireless Communication Magazine: Volume 12, Number 3, Page 42-48, 2005.
- [47] M. Tam, V. M. R. Tummala, An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system, Omega, Volume 29, Number 2, Page 171-182, April 2001.
- [48] Arshia AhiBehzad Ashtiani, An Investigation on the Multiple Attribute Decision Making (MADM) Methods for Solving the Cell Formation Problem, 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2007), vol.2. 2007.
- [49] Stelios H. Zanakis, Anthony Solomon, Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select method, European Journal of Operational Research, 1998 Vol.107, no.3, 1998.
- [50] Guiwu Wei, Gang Lan, Grey Relational Analysis Method for Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, 2008 Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, October 18-October 20.
- [51] C. Hwang, and K. Yoon, Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer, New York, 1981.
- [52] F. Bari and V.C.M.Leung, Service Delivery over Heterogeneous Wireless Networks:Network Selection Aspects, in Proc. of ACM IWCMC, Vancouver, Canad, July 2006.
- [53] F. Bari and V. C. M. Leung, Automated network selectiong in a heterogeneous wireless network environment, IEEE Network, Volume 21, Page 34-40, january/February 2007.
- [54] F. Bari, and V. C. M. Leung, Multi-Attribute Network Selection by Iterative TOPSIS for Heterogeneous Wireless Access, in Pro. IEEE CCNC'07 Las Vegas, NV, USA, January 2007.
- [55] E. Stevens-Navarro and V. Wong, Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks, in Proc. of IEEE VTC'06-Spring, Melbourne, Australia, May 2006.
- [56] Q. Song, A. Jamalipour, Network Selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computer techniques, IEEE Wireless Communication Magazine; Volume 12, Number 3, Page 42-48, 2005.
- [57] Q. Song and A. Jamalipour, Quality of Service Provisioning in Wireless LAN/UMTS Integrated Systems using Analytic hierarchy Process and grey Relational Analysis, in Proc. of IEEE GLOBECOM, Dallas, TX, USA, Nov./Dec. 2004.

- [58] Bari, Farooq, Leung, Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC
2007. 4th IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/CCNC.2007, Page(s): 808 – 812.

致 谢

两年半的研究生学习生活很快就要结束，我即将步入人生新的征途，在此回顾几年在北邮的学习与生活，感触颇多，在研究生学习阶段，我得到了老师、学长和同学的很多帮助，借此机会也向他们表示我深深的谢意。

首先特别感谢我的导师靳浩老师，她严谨的治学态度令人尊敬，特别是她在生活上给我的帮助让我特别感激。她在工作和教学任务非常繁忙的情况下，给我精心的指导与帮助，帮我解决了研究中遇到的许多问题。另外非常感谢大实验室的彭木根、张兴、赵慧和梁栋老师，他们渊博的知识，认真的工作态度给了我很大的帮助和启迪。

还有非常感谢实验室的刘昶言、王建辉、鲍秋生、颜志等同学，一方面是在学习与生活中无私的帮助，另外是从他们身上我也学习到了很多东西，自己在学习和思想上都获得了很大的进步。

攻读硕士学位期间发表的论文目录

- [1]靳浩, 武传国, 移动广播组播技术与网络融合, 电信科学, 2009.11。
- [2]武传国, MBMS/E-MBMS 与 DVB-H 网络融合研究, 科技论文在线, 2009.12。