

基於家庭網路之多媒體串流和搜尋服務之全域公平性的頻寬共享 調控機制設計與分析

Design and Analysis of a Cousin-Fair Bandwidth Allocation Strategy for Multimedia Streaming and Search Service in Home Networks

蘇銓清* 嚴聖閔 謝永逸 蘇郁翔 陳緯澤

國立成功大學資訊工程研究所

E-mail: suecc@mail.ncku.edu.tw*

摘要

本論文提出並設計一套具有廣域公平性的頻寬配置機制(Cousin-Fair Bandwidth Allocation Strategy, CBAS)，此機制可以達到有效地協助 UPnP 多媒體播放與搜尋系統達到頻寬分配，除此之外，本論文亦提出兩個頻寬分配的改進方法，以全盤地解決頻寬超配置(over-allocation)和頻寬再利用等問題，研究結果說明本論文所提出的具有廣域公平的頻寬調控機制應用於以 UPnP 為主的家庭網路時，不僅能夠同時達到頻寬的高利用度與產量的最大化，更能有效降低使用者的負擔，也就是完全的裝置自動化，而這也是家庭網路中最重要的目標。

關鍵詞：UPnP、家庭網路、MPEG-7、廣域公平與頻寬配置。

Abstract

This paper proposed a Cousin-fair Bandwidth Allocation Strategy (CBAS), which can efficiently allocate bandwidth when multimedia streaming and search service are used in home network. In addition, this study also designed two bandwidth enhanced scheme. Both scheme can solve bandwidth over-allocation problem and achieve bandwidth reuse. Experiment results show that proposed strategy can achieve high bandwidth utilization and throughput, and achieve a smart multimedia environment using UPnP and MPEG-7 protocols.

Keyword: UPnP, home networks, MPEG-7, cousin-fair and bandwidth allocation.

1. 前言

近年由於網際網路的蓬勃發展，使得具有網路連接功能的智慧型家電(Information Appliance, IA)逐漸成為市場的主流，這些智慧型家電可透過有線或無線網路與家中的電腦或是其他裝置互連，形成一個小型的區域網路，此網路稱之為家庭網路(home networks)，為了提供給使用者一個便利的操

作環境，Universal Plug and Play (UPnP) [1,6]即是一個最佳的選擇，此協定可協助具有網路能力的個人電腦、智慧型家電和手持式裝置，在家庭網路中自動完成系統以及網路相關設定，然而本研究主要目的為設計一套可用於家庭網路中多媒體串流和搜尋服務之具有廣域公平性的頻寬配置機制，此多媒體串流和搜尋服務主要是基於 UPnP 協定和 MPEG-7 [2,3,4]技術，該技術主要用於多媒體內容的描述與搜尋而非壓縮的標準，利用上述協定與技術與建構的系統包含兩個元件，分別是多媒體伺服器 DCNServer 及多媒體影音串流播放器 DCNPlayer，圖 1 即為此系統採用 UPnP 協定之網路架構圖。

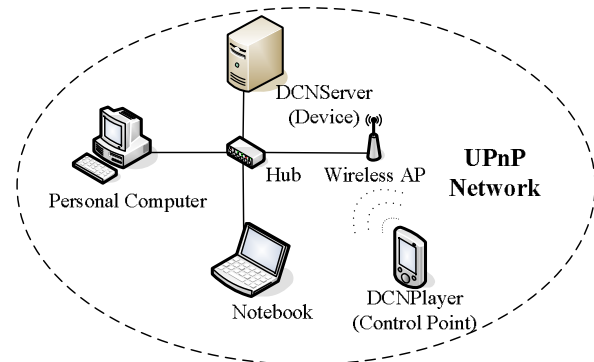


圖 1：The UPnP network architecture

DCNServer 為一依據 UPnP 協定實作而成的多媒體伺服器，此伺服器提供大量的多媒體內容，除此之外，並提供傳送多媒體內容列表供 DCNPlayer 選取播放、處理 DCNPlayer 所發出的 MPEG-7 的搜尋以及即時的網路攝影機影像傳輸等功能；DCNPlayer 亦為具有 UPnP 功能之多媒體串流播放器，並實作於嵌入式系統，因此其具有良好的可攜性以及實用性，同樣地，DCNPlayer 即為 UPnP 的控制點，因此其具有播放多媒體內容(圖片、音樂及影片)、發出 MPEG-7 搜尋 DCNServer 中符合自己

喜好的影片檔以及播放 DCNServer 端網路攝影機的即時影像等功能。

然而當 DCNPlayer 數量增加時，所有的 DCNPlayer 即會開始互相競爭頻寬，導致多媒體播放品質下降，為解決此問題本論文提出並設計一套具有廣域公平性的頻寬配置機制(Cousin-Fair Bandwidth Allocation Strategy)，此機制可以達到有效的頻寬分配，但是對於多餘的頻寬亦無法完全利用，所以本論文亦提供兩個頻寬分配的改進方法，以全盤地解決頻寬超配置(over-allocation)和頻寬再利用等問題(指配置的頻寬超過伺服器所能負荷的量)，以達到頻寬的高利用度以及產量的最大化。

2. 具有廣域公平性的頻寬配置機制 (Cousin-fair Bandwidth Allocation Strategy, CBAS)

為了解決可能遭遇到的頻寬分配不平均問題，本論文提出一套具廣域公平的頻寬共享調控機制(CBAS)，此機制主要是使用於 UPnP 網路中的多媒體播放和搜尋系統，因此本論文對於 UPnP 網路架構中主要具有的兩種元件定義如下，DCNPlayer(簡稱 DP)與 DCNServer(簡稱 DS)，分別代表一個影音播放器以及多媒體串流伺服器。當一個 DP 正在下載播放某 DS 中的影片檔時，在網路中即會產生一條連線(connection)，如圖 2 所示。

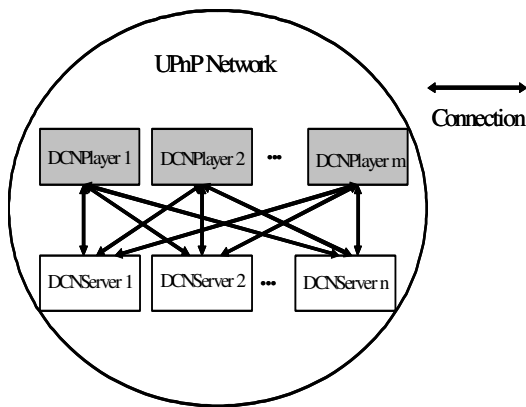


圖 2：The connections between DPs and DSs

DP 為 UPnP 控制點，具有 MPEG-7 搜尋的動作，也就是將使用者所選取的搜尋關鍵字集合送給 DS 中相對應的服務做處理，最後得到對於搜尋喜好程度最高的影片檔名稱；DS 同時為 UPnP 控制點與裝置，負責接收 DP 所送來的搜尋關鍵字集合，同時比對本身所存影片檔之描述，以計算每部影片的搜尋精確度。最後，再將結果(具最高精確度的影片檔名稱)回傳給發出搜尋的 DP。

2.1 網路假設及定義

在網路中的 DS 具有不同的硬體能力等級，以 φ 值表示，當 φ 值越高代表其硬體處理能力越強，並

且每個 DS 中存有不定數量之影片檔，且一部相同內容的影片具有不同品質的檔案(高、中與低)。一種可能情形如圖 3 所示。

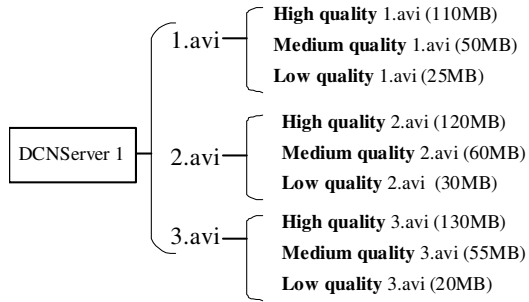


圖 3：Example of movies contained in a DS

每個 DS 中的影片主要是以 MPEG-7 進行描述，每個描述檔擁有十個不同的關鍵字，其關鍵字集合為 D，除此之外，每次搜尋即會產生一個對應的搜尋精確度(γ)，其計算流程如下，當 DS 收到由 DP 所送來的關鍵字集合(稱為搜尋關鍵字集合，S)，會依據精確度計算法則求出所存之所有影片之精確度。在本論文中，藉由將集合 S 與 D 交集的元素個數除以 D 集合的元素個數來計算出搜尋精確度，然而當搜尋精確值高於一定限制即會產生一個搜尋實體(Search Entity, SE)，此搜尋實體的產生規則如下，當 DS 收到 S 集合並計算出所有影片精確度後，定義在所有影片中具有最高精確度的影片為此 DS 相對於發出 S 集合的 DP 之搜尋實體。

本論文根據每個 DS 的硬體能力，定義兩種形態的負載度分別為 Type 1 和 Type 2，Type 1(高負載度)意指此 DS 正處於忙碌狀態，無論系統分配給其多少可使用的頻寬，最多只能提供受限制的頻寬(假設相等於提供低品質影片播放所需的頻寬)供 DP 下載影片，此外，此 Type 的 DS 只能提供一條連線的建立。Type 2(低負載度)代表此 DS 並未處於忙碌狀態，因此能依據所分配到的頻寬來決定連線的數量及品質，且能夠建立的連線數量不受限制。當完成搜尋後，即會產生一個頻寬分配權重(Φ)，此權重將使用者對於影片的喜好納入考量，對於搜尋實體間的頻寬分配策略必須同時考慮了下列兩個因素：DS 本身之硬體能力等級(φ)、使用者對於 DS 所存影片之喜好程度(γ)。綜合考量上述因素，搜尋實體可以得到一個頻寬分配權重(Φ)以進行頻寬分配。

2.2 頻寬分配策略

圖 4 為一個 UPnP 網路範例，在圖中的總頻寬為 600 個頻寬單位，其中，包含兩個 DPs 以及三個 DSs，此時，DS 1、DS 2 與 DS 3 的 DS Type 分別為 2、2 與 1，首先，每一個 DP 執行搜尋動作，分別將所選取的 S 集合送給網路中所有 DSs，並產生六個搜尋實體(SE 1~SE 6)(如圖 5 所示)。其中，DP 與其發出搜尋後所建立的搜尋實體間會建立一棵

搜尋子樹(Search sub-tree)。

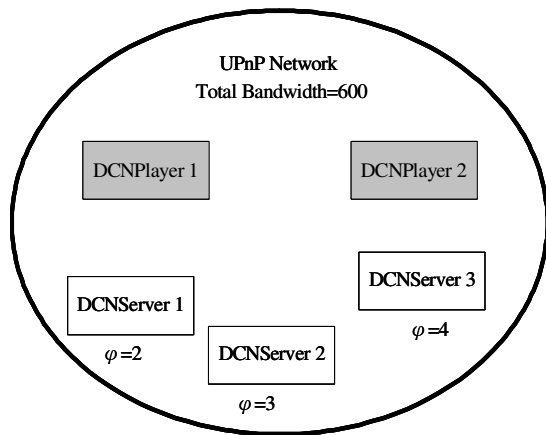


圖 4：the initial UPnP Network

為了讓使用者喜好程度較高的搜尋實體分配到較多的頻寬，而能夠建立較高品質的連線，我們根據表 1 所定義出搜尋精確度(γ)與頻寬分配權重(Φ)的關係，進行頻寬分配權重調整，其中，我們將搜尋精確度設定一個下限值，當搜尋實體的搜尋精確度低於此下限值(在表 1 中為 0.6)時，就不予以建立連線。

表 1：頻寬分配權重調整表

γ	Φ
$\gamma \geq 0.9$	$\phi+1$
$0.9 > \gamma \geq 0.8$	$\phi+0$
$0.8 > \gamma \geq 0.6$	$\phi-1$
< 0.6	0

於得到所有搜尋實體的頻寬分配權重以及考慮 DSs 的負載程度後，即可將所有搜尋子樹連結而成一棵搜尋樹(Search tree)，如圖 6 所示，並依據搜尋實體之頻寬分配權重(Φ)比例進行頻寬分配。其中，依據頻寬分配權重(Φ)來分配頻寬稱為一般化頻寬配置策略。

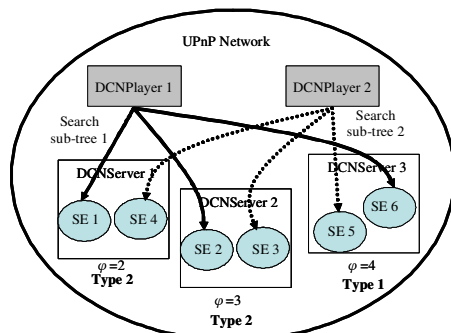


圖 5: Generated SEs after searching process of DP 1 and DP 2

當搜尋實體分配到頻寬後，即可依據影片品質與頻寬對應表(表 2)來選擇相對應品質的影片供 DP 播放下載，這樣的方式稱為以頻寬為基礎之多品質

串流機制(Bandwidth-based multi-quality streaming mechanism)。以圖 6 的例子而言，搜尋實體 5 雖然依據頻寬分配權重(Φ)配給其 200 個頻寬單位，但由於其位於 Type 1 的 DS 中，因此最多只能提供低品質影片播放的頻寬(20 個頻寬單位)，因此浪費了 180 個頻寬單位。

表 2：影片品質與頻寬對應表

Movie Quality	Minimum Bandwidth Needed for SEs
Low	20
Medium	30
High	40

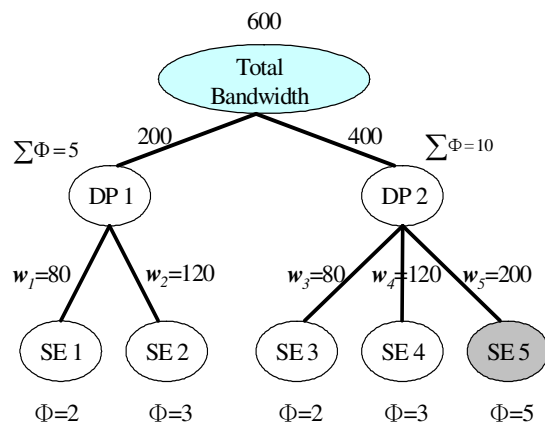


圖 6：A general bandwidth allocation

為了利用 Type 1 搜尋實體無法使用到的頻寬，我們必須將搜尋實體的負載度(Type1/2)納入考慮，以達到搜尋實體之間的頻寬分享。依據頻寬分享方式的不同，有下列兩種頻寬分享策略，分別是相鄰公平(Sibling-fair)與廣域公平(Cousin-fair)。在相鄰公平的頻寬分享策略中，系統會將 Type1 的搜尋實體多餘的頻寬依據頻寬分配權重(Φ)比例分給在同一搜尋子樹下所有 Type2 的搜尋實體。此外，為了顯示出在頻寬分享後頻寬配置之公平性，在此對 Type2 的搜尋實體定義了公平權重(fairness weight, f_i)。其中， f_i 表示第 i 個搜尋實體所得頻寬與其頻寬分配權重之比值(w_i/Φ_i)。明顯地，在相鄰公平的頻寬分享策略中，公平性僅存在於各個搜尋子樹間。在求得每個 Type2 搜尋實體的公平權重後，我們即可藉由(公式 1)計算出此搜尋樹的頻寬分配之公平度(Fairness degree, d_f)。其中， f_{avg} 與 f_{min} 分別代表在搜尋樹下所有 Type2 搜尋實體的公平權重之平均值與最小值。而頻寬分配之公平度(d_f)值越低表示此頻寬分配越平衡。

$$f_{avg} = f_{min} \times (1 + d_f) \quad (\text{公式 1})$$

另一方面，在廣域公平的頻寬分享策略中，系統會將 Type 1 的搜尋實體中多餘的頻寬依據頻寬

分配權重(Φ)比例分給所有在搜尋樹下 Type 2 的搜尋實體。由於頻寬分享不僅侷限於同一搜尋子樹下，因此能夠達到廣域的公平性。為了達成頻寬配置的完全公平，本論文將以廣域公平的頻寬分享策略為主。

接著，我們將介紹如何將廣域公平的頻寬分享策略以公式化的方式呈現。首先，我們必須定義下列變數：

- w_i : 搜尋實體依據頻寬分配權重(Φ)所分配到的頻寬
- $w^{\min}$: Type1 的搜尋實體受限制的頻寬
- T : 搜尋樹中 Type1 的搜尋實體之集合
- N_T : T 集合之元素個數
- B^{Total} : UPnP 網路總頻寬
- b_i : Type2 的搜尋實體經由廣域公平的頻寬分享後最後所得的總頻寬

由上述變數，我們即可得到廣域公平的頻寬分享正式的定義，如(公式 3.2)所示。

$$b_i = \begin{cases} w^{\min} & i \in T \\ w_i + \left(B^{\text{Total}} - \sum_{j \in T} w_j - w^{\min} \times N_T \right) \frac{\Phi_i}{\sum_{j \in T} \Phi_j} & i \notin T \end{cases}$$

(公式 2)

2.3 頻寬分配改進方法

雖然廣域公平的頻寬分享策略可以達到搜尋樹下所有 Type2 搜尋實體之間頻寬分配的完全公平($d_f=0$)，但是兩種頻寬分享策略方法都易於產生頻寬的超分配(over-allocated)的現象，也就是配給搜尋實體的頻寬高於提供高品質影片播放所需的最小頻寬。因此，網路中雖然具有高度的頻寬利用度(utilization)，卻無法有效提升產量(throughput)，為了提升產量並能夠維持頻寬的高利用度，本論文提出了下列兩種頻寬分配改進方法：柵門式服務(Gated-service)與重配置(Re-provision)。

為了減少頻寬的超分配，在此將搜尋實體的頻寬分配定一個上限值(必須高於提供高品質影片播放所需的最小頻寬)，這樣的方法稱為柵門式服務。當搜尋樹下有超分配頻寬的搜尋實體存在時，系統就會啟動柵門式服務。而依據頻寬分配公平性的不同，柵門式服務可分為兩類，分別是軟(soft)柵門式服務與硬(hard)柵門式服務[5]。軟柵門式服務會將超分配頻寬的搜尋實體以其公平權重(f_i)乘上一個遞增值 incre(初始值設為 1)，使得乘積減去高品質影片所需的頻寬為最小，最後將此乘積與 incre 設成此搜尋實體新的頻寬分配值與頻寬分配權重(Φ)。其中，稱搜尋實體經由柵門式服務所得到的頻寬為柵門頻寬(Gated bandwidth, g_i)。另一方面，

硬柵門式服務是將超分配頻寬的搜尋實體以高品質影片所需的最小頻寬當成其柵門頻寬。由於軟柵門式服務是藉由動態改變搜尋實體的頻寬分配權重(Φ)來設定其柵門頻寬，因此相較於硬柵門式服務更能維持搜尋實體之間的公平性。相對地，由於硬柵門式服務將頻寬上限定義為提供高品質影片所需的最小頻寬(以 Table 2 的影片品質與頻寬對應表而言為 40 個頻寬單位)，因此相較於軟柵門式服務更有效減少超分配的頻寬。

明顯地，頻寬分配加上(軟)柵門式服務後，不僅能夠維持高度的頻寬利用度(100%)，同時更能比未使用柵門式服務時增加 2.6(=13/5)倍的產量，如圖 7 所示。

當網路中所有低分配(under-allocated)頻寬(指所分配頻寬低於低品質影片所需的最小頻寬)的頻寬總和(under-allocated bandwidth, under_BW)高於提供低品質影片播放所需的最小頻寬時(足以建立低品質的連線)，系統就會啟動重配置。首先，系統會捨棄在低分配頻寬的搜尋實體集合中具最小頻寬分配權重(Φ)的搜尋實體(設 $\Phi=0$)，接著依據頻寬分配權重(Φ)來重新配置頻寬，直到 under_BW 低於提供低品質影片播放所需的最小頻寬。藉由使用重配置，不僅能夠維持高頻寬利用度，更能增加產量(以低品質的連線為主)。以圖 7 而言，產量多了約 1.15(=15/13)倍。

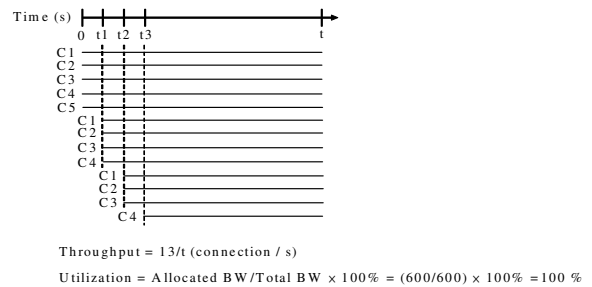


圖 7：The throughput and utilization

2.4 實驗模擬

本模擬採用表 2 的影片品質與頻寬對應表。此模擬是假設在 Gigabit (1000 Mbps) Ethernet: IEEE 802.3z (1000Base-X)的網路架構下。其中，Type1 的 DS 能提供的受限制頻寬($w^{\min}$)為 20Mbps，等同於 DS 提供低品質影片播放所需的最小頻寬。而 DS 提供中品質與高品質影片播放所需的頻寬分別為 30Mbps 與 40Mbps。另一方面，在模擬中同時設定了 SE 搜尋精確度的下限值(=0.6)，當 SE 之搜尋精確度低於此下限值時，系統會捨棄建立此 SE 的連線。

依據模擬結果，隨著 Type1 的 DS 增加，高品質與低品質的連線的數量會分別減少以及增加。雖然兩種頻寬分享策略的產量極為接近，但若以頻寬分配之公平性而言，廣域公平的頻寬分配($d_f=0$)會優

於相鄰公平($d_f=0.16$)，也就是能保證頻寬分配的完全公平。

為了提升產量並維持頻寬的高利用度，加入兩種頻寬分配改進方法(柵門式服務與重配置)的模擬。在加上軟柵門式服務後，網路的產量增加平均約為 3 倍的量，且依舊能夠維持頻寬的高利用度(100%)。雖然兩種頻寬分享策略的產量相當接近，但廣域公平的頻寬分配公平性($d_f=0$)明顯是優於廣域公平($d_f=0.16$)。以柵門式服務的公平性而言，軟柵門式服務後並不會破壞原有搜尋實體頻寬分配的公平性。另一方面，硬柵門式服務相較於軟柵門式能夠具有更高的產量。平均來說，硬柵門式服務比軟柵門式服務的產量多了平均約 1.23 倍。因此，兩種不同類型的柵門式服務是在頻寬配置之公平性與產量上的交易(trade-off)。

先前曾經提到，重配置能夠有效增加網路中的低品質連線，藉此提高產量。另一方面，由於重配置會捨棄在低分配頻寬的搜尋實體集合中具最小頻寬分配權重(Φ)的搜尋實體以重新配置頻寬，因此會破壞原有頻寬分配公平性。再加上重配置後，軟柵門式服務與硬柵門式服務的產量，分別增加了 1.14 以及 1.08 倍。其中，增加的連線均為低品質的連線。

為了能夠清楚地呈現在不同的頻寬分享策略(廣域公平與相鄰公平)分別加上頻寬分配改進方法後的頻寬分配對於能建立的總連線數與頻寬分配公平度(d_f)之間的差異，分別將模擬結果整理於表 3 與表 4 中。

表 3：頻寬分享策略加上頻寬分配改進方法之建立總連線數比較表

	Sibling-Fair	Cousin-Fair
With no improved methods	69	72
With soft gated-service	186	185
With hard gated-service	228	229
With soft gated-service and re-provision	210	214
With hard gated-service and re-provision	250	246

表 4：頻寬分享策略加上頻寬分配改進方法之頻寬分配公平度比較表

	Sibling-Fair	Cousin-Fair
With no improved methods	0.16	0
With soft gated-service	0.16	0
With hard gated-service	0.44	0.47
With soft gated-service and re-provision	0.25	0.13
With hard gated-service and re-provision	0.51	0.64

3. 結論

本論文基於目前家庭網路的 UPnP 多媒體影音串流與搜尋系統，提出與設計一套具有廣域公平性的頻寬配置機制，並且提出兩種延伸的頻寬分享策略，以解決頻寬分配以及頻寬再利用等問題，進而提升網路中頻寬的利用度及產量，研究結果說明本論文所提出的具有廣域公平的頻寬調控機制應用於以 UPnP 為主的家庭網路時，不僅能夠同時達到頻寬的高利用度與產量的最大化，更能有效降低使用者的負擔，也就是完全的裝置自動化，而這也是家庭網路中最重要的目標。

參考文獻

- [1] B. Miller, T. Nixon, Ch. Tai, M. Wood, "Home networking with Universal Plug and Play", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, Issue 12, pp. 104-109, Dec. 2001.
- [2] F. Nack, A.T. Lindsay, "Everything you always wanted to know about MPEG-7:Part 1," IEEE Multimedia, Vol. 6, No. 3, pp. 65-77, Sept. 1999.
- [3] F. Nack, A.T. Lindsay, "Everything you always wanted to know about MPEG-7:Part 2," IEEE Multimedia, Vol. 6, No. 4, pp. 64-73, Oct. 1999.
- [4] MPEG-7 Overview,
<http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm>, June 2006.
- [5] Real-time system,
<http://www.real-time.org/realtime.htm>, June 2006.
- [6] UPnP Forum, <http://www.upnp.org>, June 2006.