

9. RFC 7428 : Transmission of IPv6 Packets over ITU-T G.9959 Networks RFC 7428 : IPv6 封包在 ITU-T G.9959 網路上的傳輸

網際網路工程任務組(IETF)

Request for Comments : 7428

分類：標準

ISSN : 2070-1721

月

A.Brandt

J. Buron

Sigma Designs

2015年2

IPv6 封包在 ITU-T G.9959 網路上的傳輸

摘要

本文描述了用於傳輸 IPv6 封包的乙太網路訊號框以及在 ITU-T G.9959 網路上形成 IPv6 鏈路本地地址和無狀態自動配置的 IPv6 地址的方法。

本文的狀態

這是一份網路標準跟蹤文件。

本文是網際網路工程任務組（IETF）的產品。它代表了 IETF 組織的共識。它已經過公眾審查，並已獲得網際網路工程指導小組（IESG）的批准發布。有關網際網路標準的更多訊息，請參見 RFC 5741 的第 2 節。

有關本文當前狀態，任何勘誤以及如何提供反饋的訊息，請訪問 <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7428>。

版權聲明

版權所有 (c) 2015 IETF Trust 和確定為文檔作者的人員。版權所有。

本文受 BCP 78 和 IETF 信託有 IETF 文件的法律規定 (<http://trustee.ietf.org/license-info>) 的約束，該文自本文發布之日起生效。請仔細閱讀這些文檔，因為它們描述了您對本文的權利

和限制。從本文中提取的代碼組件必須包含信任法律規定第 4.e 節中所述的簡化 BSD 許可文本，並且不提供簡化 BSD 許可中所
述的保證。

目錄

1. 前言	3
1.1. 使用之術語	3
1.2. 要求表示法	4
2. G.9959用於IPv6傳輸的參數	4
2.1. 尋址模式	4
2.2. IPv6 Multicast 支援	6
2.3. G.9959 MAC PDU大小和IPv6 MTU	6
2.4. 傳輸狀態指示	6
2.5. 傳輸安全	7
3. 6LoWPAN適應層和訊號框	7
3.1. 調度標頭	7
4. 6LoWPAN尋址	8
4.1. 可路由IPv6地址的無狀態地址自動配置	9
4.2. IPv6鏈路本地地址	9
4.3. 單播地址映射	9
4.4. 關於鄰居搜索技術的使用	10
4.4.1. 前綴和 CID 管理（路由）	10
4.4.2. 前綴和 CID 管理（Mesh-Under）	10
5. 標題壓縮	11
6. 安全考慮因素	12
7. 隱私考慮因素	13
8. 參考	13
8.1. 規範性參考文獻	13
8.2. 訊息參考	15
附錄A. G.9959 6LoWPAN資料封包範例	16
致謝	19
作者資訊	20

1. 前言

ITU-T G.9959 建議書[G.9959]針對低功率個人區域網(PAN)。本文定義了 IPv6 [RFC2460]資料封包傳輸的乙太網路訊號框，以及在 G.9959 網路上形成 IPv6 鏈路本地地址和無狀態自動配置的 IPv6 地址。

一般方法是使[RFC4944]的元素適應 G.9959 網路。G.9959 提供分段和重組(SAR)層，用於傳輸大於 G.9959 媒體訪問控制協定數據單元(MAC PDU)的資料封包。

[RFC6775]通過為 IPv6 鄰居搜索(ND)(最初由[RFC4861]定義)的低功耗無線個人區域網(6LoWPAN)優化指定 IPv6 來更新[RFC4944]。本文限制使用[RFC6775]前綴和上下文 ID 分配。介面標識符(IID)可以由 G.9959 鏈路層地址構成，從而產生“鏈路層導出的 IPv6 地址”。如果使用該方法，則不需要重複地址檢測(DAD)。或者，可以通過 DHCP 集中分配 IPv6 地址，從而產生“非鏈路層導出的 IPv6 地址”。僅在某些情況下才需要地址註冊。

除了 IPv6 應用程式通訊之外，本文中定義的訊號框可以由 IPv6 路由協定使用，例如低功耗和有損網路路由協定(RPL)[RFC6550]或點對點路由的反向發現。低功耗和有損網路(P2P-RPL)[RFC6997]通過 G.9959 網路實現 IPv6 路由。

由本說明書定義的封裝框架可以可選地通過 6LoWPAN 層下方的網格佈線來傳輸。網狀網和路由路由協定規範超出了本文的範圍。

1.1. 使用之術語

6LoWPAN：低功耗無線個人區域網上的 IPv6

ABR：權威 6LoWPAN 邊界路由器（權威 6LBR）[RFC6775]

Ack：致謝

AES：高級加密標準 CID：上下文標識符[RFC6775]

DAD：重複地址檢測[RFC6775]

DHCPv6：IPv6 的動態主機配置協定[RFC3315]

EUI-64：擴充唯一標識符[EUI64]

G.9959：短程窄帶數字無線電通訊收發器[G.9959]

GHC：通用標頭壓縮[RFC7400]

HomeID：G.9959 鏈路層網路標識符

IID：介面標識符

鏈路層派生地址：基於鏈路層地址訊息構建的 IPv6 地址

MAC：媒體訪問控制 Mesh-under：通過 6LoWPAN 層下方的網狀路由轉發

MTU：最大傳輸單位

ND：鄰居搜索[RFC4861] [RFC6775]

NodeID：G.9959 鏈路層節點標識符

非鏈路層派生的地址：由託管進程分配的 IPv6 地址，例如 DHCPv6

P2P-RPL：低功耗和有損網路中點對點路由的反應發現[RFC6997]

PAN：個人區域網路

PDU：協定數據單元

PHY：物理層 RA：路由器廣告[RFC4861] [RFC6775]

路由：通過 6LoWPAN 層上方的 IP 路由轉發

RPL：用於低功耗和有損網路的 IPv6 路由協定[RFC6550]

SAR：G.9959 分割和重組

ULA：唯一本地地址[RFC4193]

1.2. 要求表示法

本文中的關鍵詞"必須(MUST)"、"不得(MUST NOT)"，"必要(REQUIRED)"，"必須(SHALL)"，"不得(SHALL NOT)"，"應該(SHALL NOT)"，"不應該(SHOULD NOT)"，"建議(RECOMMENDED)"，"不建議(RECOMMENDED)"，"可以(MAY)"，"可選(OPTIONAL)"按照[RFC2119]中的描述進行解釋。

2. G.9959 用於 IPv6 傳輸的參數

本節概述了適用於 G.9959 的 PHY 和 MAC 層的屬性以及如何將這些屬性用於 IPv6 傳輸。

2.1. 尋址模式

G.9959 定義了網路控制器如何分配唯一的 32 位 HomeID 網路標識符以及如何為每個節點分配 8 位 NodeID 主機標識符。NodeID 在 HomeID 標識的網路中是唯一的。G.9959 HomeID 表示由一個或多個 IPv6 前綴標識的 IPv6 子網。

IPv6 主機必須從鏈路層派生的 IID 構造其鏈路本地 IPv6 地址，以便促進 IP 標頭壓縮，如[RFC6282]中所述。

M flag		Required node behavior	
support	value		
No	(ignore)	Node MUST use link-layer-derived addressing	
Yes	0	Node MUST use link-layer-derived addressing	
	1	Node MUST use DHCPv6-based addressing, and node MUST comply fully with [RFC6775]	

圖 1：RA M 標誌支援和解釋

節點介面可以支援 RA 訊息的 M 標誌，用於構建可路由的 IPv6 地址。成本優化的節點實現可以通過跳過對 M 標誌的支援來節省存儲器。M 標誌必須按照圖 1 中的定義進行解釋。

使用基於 DHCPv6 的尋址的節點必須完全符合[RFC6775]的文本。

如果使用基於 DHCPv6 的尋址，則 DHCPv6 客戶端必須使用 DUID-UUID 類型的 DHCPv6 唯一標識符 (DUID)，如[RFC6355]中所述。DUID-UUID 中使用的通用唯一標識符 (UUID) 必須按照[RFC4122]第 4.5 節中的規定生成，從該節的第三段開始（基於 47 位隨機數的 UUID）。DUID 必須由[RFC6355]第 3 節中指定的節點持久存儲。

需要注意的是：由於 HomeID 和 NodeID 是在包含期間由網路控制器功能發出的，因此標識符有效性和唯一性受到網路成員資格生命週期的限制。這可以通過網路控制器發生的事故來縮短。在網路控制器處出現單點故障表明高可靠性網路部署可能受益於冗餘網路控制器功能。

此警告適用於鏈路層派生的尋址以及非鏈路層派生的尋址部署。

2.2. IPv6 Multicast 支援

[RFC3819]建議 IP 子網支援（子網範圍）群播。G.9959 支援直接 IPv6 群播，而 G.9959 本身不支援子網範圍的群播。子網全局群播可以由 IP 路由協定或在 6LoWPAN 層下操作的網狀路由協定提供。路由協定規範超出了本文的範圍。

IPv6 群播資料封包必須通過 G.9959 廣播傳輸。

根據[G.9959]，這完成如下：

1. G.9959 MAC PDU 的目的地 HomeID 必須是網路的 HomeID。
 2. G.9959 MAC PDU 的目的 NodeID 必須是廣播 NodeID (0xff)。
- G.9959 廣播 MAC PDU 僅由 HomeID 標識的網路內的節點截獲。

2.3. G.9959 MAC PDU 大小和 IPv6 MTU

IPv6 資料封包必須使用 G.9959 傳輸配置文件 R3 或更高版本進行傳輸。[RFC2460]規定，任何無法傳輸 1280 位元組資料封包的鏈路都必須在低於 IPv6 的層提供特定於鏈路的分段和重組。

G.9959 為最多 1350 個八位元組的有效載荷提供分段和重組。IPv6 標頭壓縮[RFC6282]提高了短 IPv6 資料封包適合單個 G.9959 訊號框的可能性。因此，本文的第 3 節規定必須支援[RFC6282]。在啟用強制鏈路層安全性的情況下，G.9959 R3 MAC PDU 可以容納高達 130 個八位元組的 6LoWPAN 資料封包，而不會觸發 G.9959 分段和重組。更長的 6LoWPAN 資料封包將導致多個 G.9959 PDU 的傳輸。

2.4. 傳輸狀態指示

G.9959 MAC 層提供 MAC PDU 的本機確認和重傳。G.9959 SAR 層對較大的資料封包也是如此。網狀路由層可以為路由通訊提供類似的特徵。通過 G.9959 進行通訊的 IPv6 路由棧可以利用鏈路層狀態指示，例如來自 MAC 層的傳遞確認和 Ack 超時。

2.5. 傳輸安全

聲稱符合本文的實現必須啟用 G.9959 共享網路密鑰安全性。

共享網路密鑰旨在滿足正常安全要求級別的家庭安全要求。對於對機密性和/或完整性要求較高或非常高的應用程式，可能需要應用用於端到端身份驗證和加密的其他應用程式層安全措施。（在任何情況下，網路的可用性都依賴於網路密鑰的安全屬性。）

3. 6LoWPAN 適應層和訊號框

本節中定義的 6LoWPAN 封裝格式作為有效載荷承載在 G.9959 MAC PDU 中。IPv6 規範壓縮[RFC6282]必須得到本規範實現的支援。此外，實現可以支援通用標頭壓縮（GHC）[RFC7400]。在應用 GHC 之前，實現[RFC7400]的節點必須探測其對等體以獲得 GHC 支援。

通過 G.9959 傳輸的所有 6LoWPAN 資料封包都以 6LoWPAN 封裝頭部堆棧為前綴。6LoWPAN 有效負載遵循此封裝頭部堆棧。標頭堆棧中的每個標頭都包含一個標頭類型，後跟零個或多個標頭字段。IPv6 標頭棧可以按以下順序包含尋址，逐跳選項，路由，分段，目的地選項，以及最後的有效載荷[RFC2460]。6LoWPAN 標頭格式的結構相同。目前，僅為 G.9959 6LoWPAN 標頭格式定義了一個有效載荷選項。

6LoWPAN 標頭的定義包括調度值，後面的頭字段的定義，以及它們相對於所有其他頭的排序約束。儘管標頭堆棧結構提供了解決 6LoWPAN 適配層的未來需求的機制，但是它並不旨在提供通用的可擴充性。

有關完整 G.9959 6LoWPAN 資料封包的範例，請參見附錄 A。

3.1. 調度標頭

調度標頭如下所示：

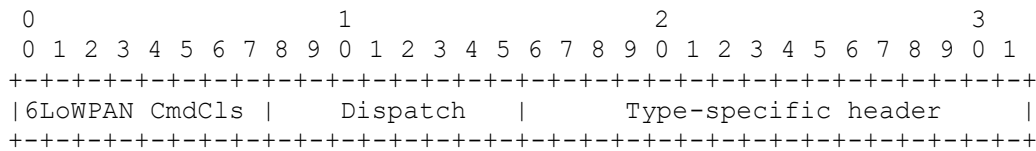


圖 2：調度類型和標題

6LoWPAN CmdCls：6LoWPAN 命令類標識符。該字段必須帶帶值 0x4F [G.9959]。該值由 ITU-T 分配，並指定以下位是 6LoWPAN 封裝的資料封包。如果 6LoWPAN 命令類標識符偏離 0x4F，則 6LoWPAN 協定必須忽略 G.9959 訊號框。

Dispatch：在 Dispatch Header 之後立即標識標頭類型。

特定於類型的標頭：由 Dispatch Header 確定的標頭。

可以將調度值視為非結構化命名空間。只需要幾個符號來表示當前的 6LoWPAN 功能。雖然通過在調度位元組中編碼附加功能可以實現一些額外的節省，但這些措施往往會限制解決未來替代方案的能力。

Pattern	Header Type	Reference
01 1xxxxx	6LoWPAN_IPHC	[RFC6282]

其他 IANA 分配的 6LoWPAN 分配值不適用於此文檔。

圖 3：調度值

6LoWPAN_IPHC：IPv6 標頭壓縮。請參閱[RFC6282]。

4. 6LoWPAN 尋址

IPv6 地址可以從 IID 自動配置，IID 可以再次從鏈路層地址訊息構造以節省設備中的存儲器並且根據[RFC6282]促進有效的 IP 標頭壓縮。鏈路層派生的地址具有靜態特性，可能會不自覺地暴露公共網路上的私人使用數據。請參閱第 7 節。

NodeID 映射到 IEEE EUI-64 標識符，如下所示：

IID = 0000:00ff:fe00:YYXX

圖 4：構造可壓縮的 IID

其中 XX 帶有 G.9959 NodeID，YY 是單個節點選擇的 1 位元組值。默認的 YY 值必須為零。節點可以使用除零以外的 YY 值來形成額外的 IID，以便實例化多個 IPv6 介面。當從 IID 計算相應的 NodeID（XX 值）時，必須忽略 YY 值。

從鏈路層地址構造 IID 的方法顯然不支援由其他方式分配或構造的地址。如果 IID 的前 6 個位元組不符合圖 4 中定義的格式，則節點不得從 IID 計算 NodeID。在這種情況下，[RFC6775]的地址解析機制適用。

4.1. 可路由 IPv6 地址的無狀態地址自動配置

無論是在 G.9959 子網中自動配置 ULA IPv6 地址[RFC4193]還是全局可路由 IPv6 地址[RFC3587]，都必須使用上面定義的 IID。

4.2. IPv6 鏈路本地地址

G.9959 介面的 IPv6 鏈路本地地址[RFC4291]是通過將上面定義的 IID 附加到 IPv6 鏈路本地前綴 fe80 :: / 64 而形成的。

“通用/本地”（U / L）位必須設置為零，以符合這不是全局唯一值[EUI64]的事實。生成的鏈接本地地址形成如下：

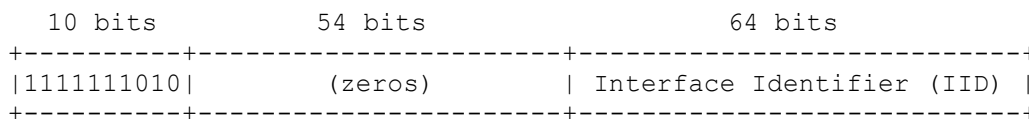


圖 5：IPv6 鏈接本地地址

4.3. 單播地址映射

將 IPv6 單播地址映射到 G.9959 鏈路層地址的地址解析過程遵循 [RFC4861]第 7.2 節中的一般描述。當鏈路層為 G.9959 時，源/目標鏈路層地址選項必須具有以下形式。

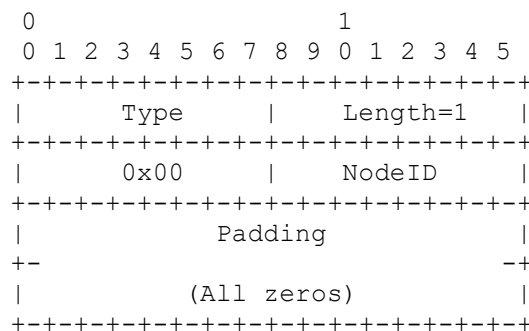


圖 6：IPv6 單播地址映射

選項字段：

類型：值 1 表示源鏈路層地址。值 2 表示目標鏈路層地址。

長度：這是此選項的長度（包括“類型”和“長度”字段），以 8 個八位元組為單位。對於 G.9959 NodeID，此字段的值始終為 1。

NodeID：這是實際介面當前響應的 G.9959 NodeID。如果介面稍後加入另一個網路，則鏈路層地址可能會改變。

4.4. 關於鄰居搜索技術的使用

[RFC4861]指定IPv6節點如何通過使用鏈路本地IPv6群播從IPv6地址解析鏈路層地址。

[RFC6775]是[RFC4861]的優化，專門針對 6LoWPAN 網路。
[RFC6775]定義了 6LoWPAN 節點如何使用權威邊界路由器(ABR)註冊 IPv6 地址。網狀網路不得使用[RFC6775]地址註冊。但是，如果 IID 的前 6 個位元組不符合圖 4 中定義的格式，則必須使用[RFC6775]地址註冊。

4.4.1. 前綴和 CID 管理（路由）

在路由環境中，IPv6 主機必須使用[RFC6775]地址註冊。用於路由操作的節點實現可以使用[RFC6775]機制來獲得 IPv6 前綴和相應的標頭壓縮上下文訊息[RFC6282]。[RFC6775]路由覆蓋要求適用，無需修改。

4.4.2. 前綴和 CID 管理 (Mesh-Under)

網狀網操作的實現必須使用[RFC6775]機制來管理 IPv6 前綴和相應的頭壓縮上下文訊息[RFC6282]。[RFC6775]不得使用重複地址檢測 (DAD)，因為 G.9959 的鏈路層包含過程可確保 NodeID 對於給定的 HomeID 是唯一的。由於此例外以及 RA 路由器生命週期值 0xFFFF 的具體重新定義（參見第 4.4.2.3 節），以下小節的文本符合[RFC6775]。

4.4.2.1. 前綴分配注意事項

如[RFC6775]所述，ABR 負責管理前綴。全局可路由前綴可能會隨時間而變化。建議將 ULA 前綴分配給 6LoWPAN 子網，以便基於 IPv6 地址實現穩定的站點本地應用程式關聯。節點可以支援 RA 訊息的 M 標誌。這會影響 IPv6 地址的分配方式。有關詳細訊息，請參閱第 2.1 節。

4.4.2.2. 強大而高效的CID管理

根據 RA 中的[RFC6775]使用 6LoWPAN 上下文選項 (6CO) 來傳播用於壓縮前綴的上下文 ID (CID)。在初始節點包含期間必須分配一個或多個前綴和相應的上下文 ID。更新上下文訊息時，CID 的生命週期可能設置為零以廢棄它。CID 不得立即重複使用；相反，應該分配下一個空置 CID。基於 CID 的頭壓縮不得用於攜帶上下文訊息的 RA 訊息。過期的 CID 和相關的前綴不得重置，但如果 CID 值沒有其他當前需要，則必須保留在僅接收模式。這將允許 ABR 檢測沒有時鐘的睡眠節點是否使用過期的 CID，並且作為響應，ABR 必須將具有新的上下文訊息的 RA 返回給發起者。

4.4.2.3. 無限前綴對海島模式的始終支援

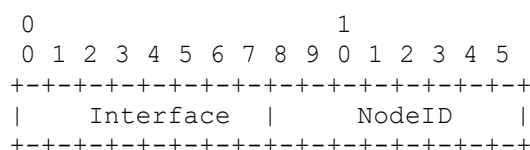
節點必須根據 ABR 發出的生命週期更新前綴和 CID。[RFC6775]指定 RA 路由器生命週期字段的最大值可以達到 0xFFFF。該文進一步規定值 0xFFFF 必須被解釋為無限生存期。ABR 不得使用該值。它的用途僅適用於睡眠網路控制器 - 例如，電池供電的遙控器是小型島模式光模塊網路的主控制器。

5. 標題壓縮

必須實現 IPv6 標頭壓縮[RFC6282]，並且可以實現更高層的 GHC [RFC7400] 壓縮。本節將簡單地確定在解釋[RFC6282]和 [RFC7400]的文本時應該進行的替換。通常，應進行以下替換：

- o 將“802.15.4”替換為“G.9959”。
- o 將“802.15.4 短地址”替換為“”。
- o 將“802.15.4 PAN ID”替換為“G.9959 HomeID”。

當需要 16 位地址（即 IEEE 802.15.4“短地址”）時，必須通過將介面標籤位元組添加到 G.9959 NodeID 來形成：



發送節點可以發送到可以從鏈路層目的地地址重建的 IPv6 目的地地址。如果介面編號為零（默認值），則可以省略所有 IPv6 地址位元組。同樣，完全省略的 IPv6 地址的介面號（即，SAM/DAM = 11）可以由接收節點重建為零值。

64 位 802.15.4 地址詳細訊息不適用。

6. 安全考慮因素

從 8 位 NodeID 導出介面標識符的方法保留了網路內的唯一性。但是，通過偽造無法防止重複。G.9959 鏈路中的鄰居搜索發現可能容易受到威脅，如[RFC3756]中所述。G.9959 網路可能具有網狀路由功能。這意味著由於[KW03]的臨時路由而產生的其他威脅。G.9959 提供鏈路層安全性。G.9959 節點必須使用鏈接層安全性和共享密鑰。這樣做可以減輕上述大多數威脅。預計相當大比例的 G.9959 設備將在其 PAN 內（即，在其子網內，以 IPv6 術語）進行通訊。響應於成本和功耗考慮，這些設備通常將實現必要的最小特徵集。因此，這種設備的安全性可能依賴於 G.9959 在鏈路層定義的機制。G.9959 依靠高級加密標準（AES）對 G.9959 訊號框進行身份驗證和加密，並進一步採用質詢 - 響應握手來防止重放攻擊。

還期望一些 G.9959 設備（例如，計費和/或安全關鍵產品）將實現協調或集成功能。這些可以與子網外的 IPv6 對等體定期通訊。期望這種 IPv6 設備利用標準安全機制（例如，IPsec，傳輸層安全性（TLS）等）來保護它們的端到端通訊。

7. 隱私考慮因素

IP 地址可用於跟踪網際網路上的設備；這些設備又可以與個人及其活動相關聯。取決於應用和實際使用模式，這可能是不期望的。為了阻止跟踪，應該避免 IP 地址的全局唯一和不變的特性，例如，通過頻繁地改變全局前綴並避免地址中唯一的鏈路層導出的 IID。

一些鏈路層使用 48 位或 64 位鏈路層地址，無論全局前綴如何變化，都能在全局範圍內唯一標識節點。由於短的 8 位鏈路層地址，使 G.9959 設備暴露於其鏈路層派生的 IID 的風險受到限制。

雖然用於中央地址管理，但 DHCPv6 地址分配還將 IPv6 地址與鏈路層地址分離。通過使用短的 DHCP 租用期和分配策略可以使地址動態化，該策略使 DHCP 服務器每次都分發新的 IP 地址。為了增強隱私，DHCP 分配的地址應僅在租約期間記錄，前提是實施還允許根據操作策略記錄更長的持續時間。

應該注意的是，隱私和頻繁改變的地址分配是有代價的。非鏈路層派生的 IID 需要使用地址註冊。此外，不能壓縮非鏈路層導出的 IID；這導致更長的資料封包和增加的鏈路層分段。最後，頻繁的前綴更改需要更多的上下文標識符更新；這不僅會導致流量增加，還會影響睡眠節點的電池壽命。

8. 參考

8.1. 規範性參考文獻

- [G.9959] International Telecommunication Union, "Short range narrow-band digital radiocommunication transceivers - PHY and MAC layer specifications", ITU-T Recommendation G.9959, January 2015, .

- [RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", BCP 14, RFC 2119, March 1997, .
- [G.9959] 國際電信聯盟，“短距離窄帶數字無線電通訊收發器 - PHY 和 MAC 層規範”，ITU-T G.9959 建議書，2015 年 1 月，。
- [RFC2119] Bradner, S.，，“在 RFC 中用於表示需求水平的關鍵詞”，BCP 14，RFC 2119，1997 年 3 月，。
- [RFC2460] Deering, S. 和 R.Hinden，，“Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification”，RFC 2460，December 1998 ,.
- [RFC4122] Leach, P.，Mealling, M. 和 R. Salz，，“A UNIVERSally Unique Identifier (UUID) URN Namespace”，RFC 4122，2005 年 7 月，。[RFC4193] Hinden, R. 和 B. Haberman，，“Unique Local IPv6 Unicast Addresses”，RFC 4193，2005 年 10 月，。
- [RFC4291] Hinden, R. 和 S. Deering，，“IP Version 6 Addressing Architecture”，RFC 4291，2006 年 2 月，。
- [RFC4861] Narten, T.，Nordmark, E.，Simpson, W. 和 H. Soliman，，“IP 版本 6 的鄰居搜索發現 (IPv6) ”，RFC 4861，2007 年 9 月，。
- [RFC4944] Montenegro, G.，Kushalnagar, N.，Hui, J.，and D. Culler，，“IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks 的傳輸”，RFC 4944，2007 年 9 月，。
- [RFC6282] Hui, J. 和 P. Thubert，，“基於 IEEE 802.15.4 網路的 IPv6 資料封包的壓縮格式”，RFC 6282，2011 年 9 月，。

- [RFC6355] Narten, T. 和 J. Johnson, “基於 UUID 的 DHCPv6 唯一標識符 (DUID-UUID) 的定義”, RFC 6355, 2011 年 8 月, 。
- [RFC6775] Shelby, Z., Chakrabarti, S., Nordmark, E. 和 C. Bormann, “IPv6 低功耗無線個域網 (6LoWPAN) 上的鄰居搜索發現優化”, RFC 6775, 2012 年 11 月, 。
- [RFC7400] Bormann, C., “6LoWPAN-GHC: IPv6 低通用無線個域網 (6LoWPAN) 的通用標頭壓縮”, RFC 7400, 2014 年 11 月, 。

8.2. 訊息參考

- [EUI64] IEEE, “64 位全球標識符指南 (EUI-64TM)”, 2012 年 11 月, <<http://standards.ieee.org/regauth/oui/tutorials/EUI64.html>> 。
- [KW03] Karlof, C. 和 D. Wagner, “傳感器中的安全路由網路：攻擊與對策“, Elsevier Ad Hoc 網路期刊, 傳感器網路應用和協定特刊, 第一卷。1, 問題 2-3, 2003 年 9 月。
- [RFC3315] Droms, R., Bound, J., Volz, B., Lemon, T., Perkins, C. 和 M. Carney, “用於 IPv6 的動態主機配置協定 (DHCPv6)“, RFC 3315, 2003 年 7 月, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3315>> 。
- [RFC3587] Hinden, R., Deering, S. 和 E. Nordmark, “IPv6 Global Unicast Address Format”, RFC 3587, August 2003, <<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3587>> 。
- [RFC3756] Nikander, P., Kempf, J. 和 E. Nordmark,

“IPv6 鄰居搜索(ND)信任模型和威脅“，RFC 3756，
2004 年 5 月，
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc3756>>。

[RFC3819] Karn，P.，Bormann，C.，Fairhurst，G.，
Grossman，D.，
Ludwig，R.，Mahdavi，J.，Montenegro，G.，Touch，
J. 和 L.Wood，“Internet Subnetwork Designers 的建
議”，BCP 89，RFC 3819，2004 年 7 月，
<[http://www.rfc-
editor.org/info/rfc3819](http://www.rfc-editor.org/info/rfc3819)>。

[RFC6550] Winter，T.，Thubert，P.，Brandt，A.，Hui，
J.，Kelsey，R.，
Levis，P.，Pister，K.，Struik，R.，Vasseur，JP.，
和 R.
Alexander，“RPL：用於低功耗和有損網路的 IPv6
路由協定”，RFC 6550，2012 年 3 月，
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6550>>。

[RFC6997] Goyal，M.，Baccelli，E.，Philipp，M.，
Brandt，A. 和 J.
Martocci，“反復發現點對點路線低功耗和有損網路“，
RFC 6997，2013 年 8 月，
<<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6997>>。

附錄 A. G.9959 6LoWPAN 資料封包範例

此範例概述了通過 PAN 邊界路由器從網際網路主機到達 G.9959
節點的範例 IPv6 UDP 資料封包的每個單獨位。

在 G.9959 PAN 中，完整訊號框具有以下字段。

G.9959:

```
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+...  
| HomeID | SrcNodeID | FrmControl | Len | SeqNo | DestNodeID |  
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+--...
```


6LoWPAN:

```
...+-----+-----+-----+-----+...
   |6LoWPAN CmdCls|6LoWPAN_IPHC Hdr|Compressed IPv6 headers|
...+-----+-----+-----+-----+...
```

IPv6, TCP/UDP, App payload:

```
...+-----+-----+-----+-----+...
   |Uncompressed IPv6 headers|TCP/UDP/ICMP|App payload|
...+-----+-----+-----+-----+...
```

該訊號框來自源 IPv6 地址

2001 年：將 0db8：AC10：ef01:: FF：FE00：1206。源前綴

2001：0db8：ac10：ef01 / 64 由 IPHC CID = 3 識別。

訊號框從具有源 NodeID = 1 的閘道器直接傳送。介面標識符(IID) ff：fe00：1206 被識別為鏈路層導出的地址，並被壓縮為 16 位值 0x1206。

訊號框被發送到目標 IPv6 地址 2001：0db8：27ef：42ca:: ff：fe00：0004。目的地前綴 2001：0db8：27ef：42ca / 64 由 IPHC CID = 2 標識。

IID ff：fe00：0004 被識別為鏈路層導出的地址。

由於鏈路層派生的尋址規則，發送方知道這將被發送到 G.9959 NodeID = 4，目標是 IPv6 介面實例號 0（默認值）。

要到達 G.9959 節點的 6LoWPAN 堆棧(跳過 G.9959 標頭字段)，第一個八位元組必須是 6LoWPAN 命令類 (0x4F)。

```
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8
+---+---+---+---+---+---+...
|           0x4F           |
+---+---+---+---+---+---+...
```

調度標頭位“011”通告壓縮的 IPv6 標頭。

```
0                                     1
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
+---+---+---+---+---+---+---+---+...
|           0x4F           | 0 1 1
+---+---+---+---+---+---+---+---+...
```

以下位對第一個 IPv6 標頭字段進行編碼：

TF = “11”：忽略了流量類別和流標籤

NH = “1”：省略下一個標題

HLIM = “10”：跳數限制為 64

```

      0                               1
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5
+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
|           0x4F           |0 1 1 1 1 1 1 0|
+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
```

CID = “1”：CI 數據位於 DAM 字段之後

SAC = “1”：Src 地址使用基於狀態的有狀態壓縮

SAM = “10”：將 src CID 和 16 位用於源自鏈路層的地址

M = “0”：目標地址不是群播地址

DAC = “1”：目標地址使用有狀態的基於上下文的壓縮

DAM = “11”：使用 dest CID 和 dest NodeID 鏈接層衍生的地址

```

      0                               1                               2
    0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3
+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
|           0x4F           |0 1 1 1 1 1 1 0|1 1 1 0 0 1 1 1|
+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
```

地址壓縮上下文標識符：

SCI = 0x3

DCI = 0x2

```

      2                               3
    4 5 6 7 8 9 0 1
...+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
|  0x3  |  0x2  |
...+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+...
```

IPv6 標頭字段：

（跳過“版本”字段）

（跳過“交通艙”）

（跳過“流標籤”）

（跳過“有效載荷長度”）

IPv6 標頭地址字段：

SrcIP = 0x1206：使用 SCI 和鏈路層衍生地址的 16 個最低有效位

（跳過 DestIP）-從 dest NodeID 和 DCI 完全重建

```

      2           3           4
      4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...
   | 0x3 | 0x2 | 0x12 | 0x06 |
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...

```

UDP 標頭的下一個標頭編碼：

Dispatch = '11110'：UDP 標頭的下一個標頭分配代碼

C = "0"：內聯 16 位校驗和

P = "00"：src 端口和 dest 端口都在線傳送

```

      4 5
      8 9 0 1 2 3 4 5
...+--+--+--+--+--+--+...
   |1 1 1 1 0|0|0 0|
...+--+--+--+--+--+--+...

```

UDP 標頭字段：

src 端口 = 0x1234

目標端口 = 0x5678

```

      5           6           7           8
      6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...
   | 0x12 | 0x34 | 0x56 | 0x78 |
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...

```

(跳過“長度”)

校驗和 = ... (實際校驗和值取決於實際 UDP 負載)

```

      8 9           1
      8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...
   | (UDP checksum) |
...+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+...

```

在此處添加您自己的 UDP 有效負載...

致謝

感謝 RFC 4944 和 RFC 6282 的作者以及 IETF 6LoWPAN 工作組的成員；這份文件大量借鑒了他們的工作。感謝 Erez Ben-Tovim，Erik Nordmark，Kerry Lynn，Michael Richardson 和 Tommas Jess Christensen 的有益評論。感謝 Carsten Bormann 提供的廣泛反饋，顯著改進了本文。感謝 Brian Haberman 指出不清楚的細節。

作者資訊

Anders Brandt
Sigma Designs
Emdrupvej 26A, 1.
Copenhagen O 2100
Denmark

EMail: anders_brandt@sigmadesigns.com

Jakob Buron
Sigma Designs
Emdrupvej 26A, 1.
Copenhagen O 2100
Denmark

EMail: jakob_buron@sigmadesigns.com