



封包網路中的時脈同步

目錄

前言	2
電路交換網路時脈	3
封包網路特性	4
封包網路中時脈同步的實現	5
結論	6

前言

在通訊系統中，時脈和同步一直是確保語音和數據連接可靠和無差錯的一項關鍵設計因素。隨著目前網路向基於封包的架構轉移，時脈要求正產生變化，實現標準網路時脈和同步更加複雜。本文介紹了有關電路和封包交換網路時脈同步的一些基本概念，討論了可用來實現封包網路時脈同步的幾種方法以及它們的優缺點。

電路交換網路時脈

為了防止數據傳輸丟失，需要對一條電路交換電信網路上的所有節點進行同步，以確保發送和接收節點以同樣的速率對數據進行採樣。這是透過一種所謂的主從時脈關係實現的，其中所有網路節點(時脈從節點)都同步到一個具有高精密度自由執行時脈的節點(時脈主節點)上。該自由執行時脈稱為主參考時脈(PRC)或主參考源(PRS)，其精密度必須為 $1E(-11)$ 或以上。這樣的精密度只能透過銫(原子)時脈或銫時脈控制的無線電信號來產生，如全球定位系統(GPS)、全球軌道導航衛星系統(GLONASS)和遠端導航系統版本 C(LORAN-C)。

為獲得通訊的可靠性，希望全球電信網路全部同步到一個單一的 PRC/PRS 的願望是不現實的。實際網路採用一種扁平時脈分佈結構，包含許多獨立執行的 PRC/PRS。每個電信供應商一般都有自己 PRC/PRS，這意味著全球性電信網路是由一些同步的‘孤島’透過一些準同步鏈路鏈接而成的。執行兩種不同 PRC/PRS 時脈的兩個網路孤島之間仍會產生數據丟失(也稱為緩衝滑動)，但由於兩個原子時脈之間的頻率差異很小，因此這種情況很少產生。

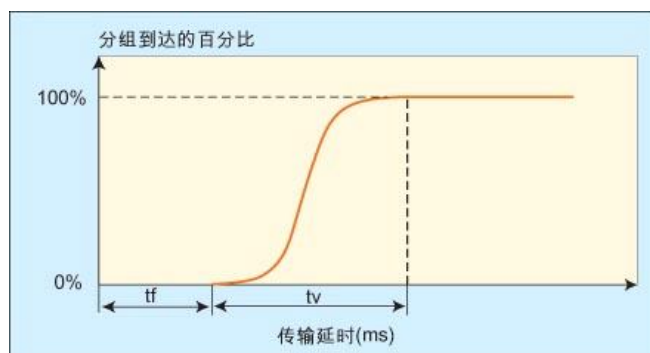


圖 1：封包網路中的傳輸延遲和延遲變化。

還有一些其他缺陷會影響電路交換網路的數據傳輸，最重要的就是抖動(jitter)和漂移(wander)，抖動和漂移被定義為數位訊號的重要時刻在時間上偏離其理想位置的短期變動和長期變動。

電路交換網路中的所有接收機都含有彈性儲存緩衝區，以補償抖動和漂移。該緩衝區的大小應大於網路中的最大抖動和漂移。

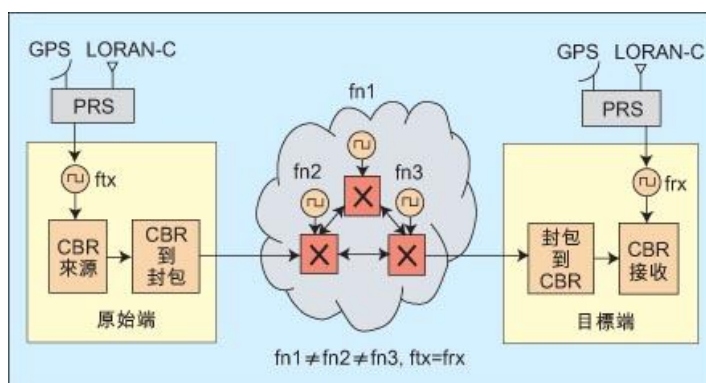


圖 2：原始節點和目的節點同步到公共時脈。

封包網路特性

封包交換網路用於突發性數據通訊的傳輸，其中資訊在來源處封裝成封包，這些封包透過網路節點(如交換機和路由器)以儲存轉發的方式傳輸，直到到達目的地。封包網路與電路交換網路有著很大不同，具有以下特性：

1. 封包網路本質上是非同步的。
2. 封包可能會以錯亂的順序到達目的地，因為它們可能經過不同的網路路徑。
3. 由於封包在網路節點中排序的隨機性，每個封包的傳播延遲各不相同。一般，封包傳播延遲隨網路中通訊負載的增加而增加。即使是在負載較輕的網路條件下，傳播延遲一般也比在電路交換網路中要長。

由於缺乏同步、傳輸延遲長和延遲變化大等原因，封包網路不太適合傳輸語音和其他固定元速率(CBR)通訊，如語音、語音數據機、視訊會議和傳真等。圖 1 以圖形方式顯示了封包傳輸延遲和延遲變化。

總傳輸延遲包括固定傳輸延遲 t_f 和可變延遲 t_v 。固定延遲是由傳播延遲和網路中的最小緩衝延遲引起的，可變延遲(通常稱為封包抖動)主要是由網路節點中的排序引起的。封包抖動在接收機處透過抖動緩衝區進行補償。由於封包抖動可能會比電路交換網路中的抖動和漂移大幾個數量級，封包網路中用於補償的抖動緩衝區比電路交換網路中的抖動緩衝區要大得多。

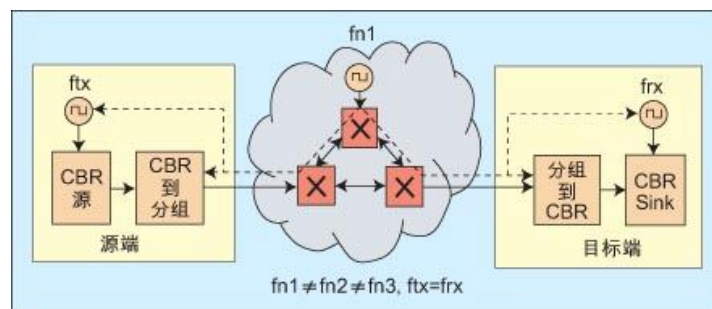


圖 3：原始節點和目的節點同步到網路。

總延遲減少並具有服務品質(QoS)控制功能的更高速度封包交換機的開發，使得封包網路不僅可以用於突發性數據通訊，而且還適用於對延遲和延遲變化較為敏感的應用。具有 QoS 功能的封包交換機可以降低高優先級通訊的傳輸延遲和傳輸延遲變化。然而，封包網路仍不具備 CBR 應用所需的端到端時脈同步。

如果端節點(原始節點和目的節點)未同步，因此導致的結果將與電路交換網路的結果一樣。如果目的時脈比原始時脈快或慢，目的節點中的緩衝區將會上溢或下溢。因缺乏同步造成的緩衝滑動將對不同 CBR 通訊產生不同的影響。在單語音訊息通道傳輸情況下，一個語音採樣將被丟失或者被重覆。由於語音訊號的相關性較高，相鄰語音採樣具有相似的幅度，因此除非滑動速率很高，否則不大可能在接收機中造成噪音。對於傳送 T1/E1 訊號的電路模擬應用，緩衝區上溢或下溢有可能導致 T1/E1 訊框同步丟失，因而中斷服務。對於傳真應用，一次滑動將導致數行數據丟失，而對於語音數據機傳輸，一次滑動則可能使其其中斷幾秒鐘。

封包網路中時脈同步的實現

IP 網路的同步可透過幾種方式來實現。可以將它們分成兩個基本類別：第一，如果有公共參考可用，比如來自電路交換網路或 GPS 訊號的參考，那麼原始和目的節點可同步到這些實體層時脈上；第二，在原始和目的節點沒有公共同步參考時，可以採用專門的時脈恢復方法，如後面將要講述的差分 and 自適應時脈恢復方法。

1. 同步實體層情況下的時脈同步

圖 2 和圖 3 顯示了同步實體層情況下的時脈同步結構圖：圖 2 顯示了同步到 GPS 或 LORAN-C 的原始和目的節點；圖 3 顯示了從封包網路導出時脈資訊的原始和目的節點，該網路中所有節點在實體層同步到一個公共時脈上(例如 SONET/SDH 上的封包)。

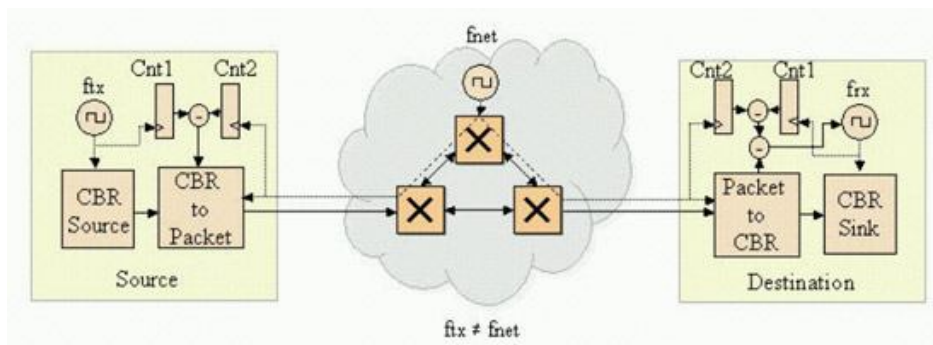


圖 4：差分時脈。

兩種情況下，同步都與電路交換網路的同步完全相同，唯一差別是，目的節點的接收緩衝區必須要大多，因為封包延遲變化(封包抖動)比電路交換網路中產生的抖動/漂移要大得多。

2. 非同步實體層情況下的時脈同步

當除了原始 CBR 時脈 f_{tx} 之外，所有網路節點都同步到一個公共時脈時，可以使用差分時脈(Differential timing)，如圖 4 所示。原始端產生一個時間戳，該值與原始時脈 f_{tx} 和網路時脈 f_{net} 之間的差值成正比，將其插入封包頭中。一旦目的節點收到封包，就會擷取出該原始時間戳，將其與本地產生的時間戳(與 $f_{rx}-f_{net}$ 成正比)進行比較。這種比較的結果用於調節目的節點振盪器的頻率 f_{rx} 。當目的時間戳等於原始時間戳時，就達到了同步。差分時脈與 ATM 中使用的同步剩餘時間戳(Residual Timestamp)方法非常相似。

自適應時脈(Adaptive timing)適用於網路節點無法同步到一個公共時脈的情況，這大概是封包網路中最普遍的情況。最簡單的實現是不斷調節接收器時脈，使接收緩衝區中的數據水準保持在中等數值，遠離上溢或下溢條件。然而，這種時脈調節的解析度是非常粗糙的。對於語音訊號，該解析度等於一個語音採樣的持續時間或 125us，這意味著在執行任何糾正之前目的時脈有可能漂離原始時脈 125us。因此，這種方法產生的時脈會具有較大的抖動。這種時脈

只能用在接收到的數據將被轉換成類比形式，並且不會再透過電路交換網路進行進一步傳輸的情況。

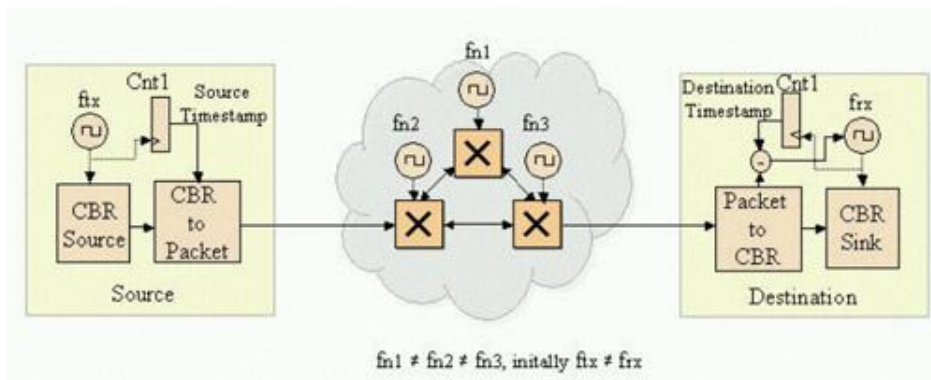


圖 5：自適應時脈。

較好的選擇是在封包頭中使用時間戳。圖 5 顯示了這種方法的功能結構圖。

原始端和目的端各有一個透過相應的以本地時脈為觸發的計數器。每次原始端組裝好一個新的封包，就會把計數器中的值插入到封包頭的時間戳字段中，然後將該封包傳送到網路上。到達接收器時，該時間戳被從封包頭中擷取出來，並與本地產生的時間戳(本地計數器中的值)進行比較。比較結果用於調節本地振盪器的頻率 frx 。如果原始和目的端時間戳之間的差值不再隨連續接收到的封包而變化時，則原始和目的時脈達到了同步。如果該差值隨連續接收到的封包而增大，則目的時脈頻率需要提高，反之則該頻率需要降低。這種情況下，解析度(原始和目的振盪器之間的最小相位誤差)等於原始和目的端用於時間戳計數器增值的時脈的週期。

結論

封包網路最初不是為傳輸語音、T1/E1 和傳真等 CBR 通訊而設計。封包網路缺乏同步機制，具有較大的封包延遲和封包延遲變化。新的具有改進的 QoS 功能的封包設備允許實現更好管理的網路。幾種透過封包網路傳輸時脈同步的方法也已開發出來，因而使封包網路能夠傳送 CBR 通訊。透過這些發展，封包網路現在已經能夠提供可與電路交換網路相媲美的 CBR 通訊業務品質。

作者：Slobodan Milijevic

Zarlink 半導體公司