



基於動態流體模型的路由策略優化

參賽同學: 黃永誠、阮銘輝、張哲維

指導老師: 林君彥 老師

簡介

日常生活中,網路的路由選擇是一個十分重要的功能,路由選擇直接影響網路的通信能力。其中最常見的路由選擇是依據最短路徑策略執行,路由選擇的路徑為兩個節點間的最短路徑,該方法聽起來非常可靠,但通常會導致大量的封包通常會在網路的核心節點上積累。在上述情況下,某些封包無法及時到達目的地,這導致了交通堵塞。使用更好的路由策略來避免擁塞是一種常見的方法。這是因為路由策略是一項通過修改路由信息來改變網路流量通過路徑的技術,只需通過軟件修改路由算法,這相對容易實施,並且經濟和人力成本相對較低。

研究目的

建構一套路由策略,改善最短路徑策略的傳輸問題,使得網路的平均吞吐量提高。

研究方法

建立模型:方便研究以最短路徑策略傳輸封包時哪些路徑容易發生堵塞

模型功能:估測使用最短路徑策略時,各路徑的流量

模型意義:類比網路中大量封包傳輸的動態系統

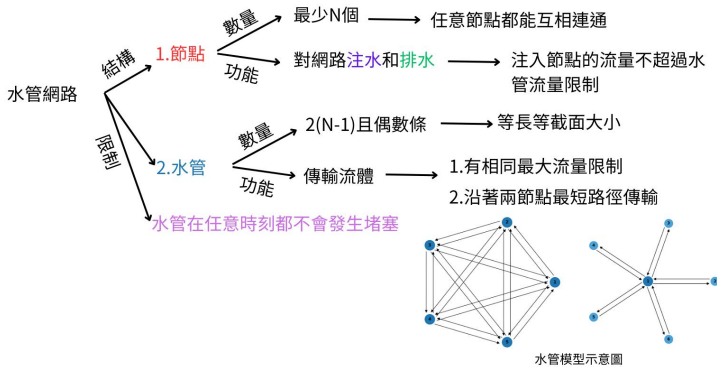
設計策略:藉由模型給出的資訊設計出一種新的路由策略

靜態策略

動態策略

實驗:在電腦中模擬新的路由策略並分析模擬結果

水管模型



節點平均流量

經過 v_i 節點的最短路徑數量

$$T_{v_i} = \frac{TB_{v_i}}{N(N-1)}, T_{v_i} \leq T_c$$

節點對數量(路徑數量)

T : 每秒注入網路的流體體積

T_c : 水管的最大流量限制

節點 v_j 的重力中心值

$$\alpha_{v_j} = \frac{GC_{v_j}}{\sum GC_c}$$

和節點 v_i 直接相連的節點的重力中心值總和

水管的平均吞吐量

$$T_{v_j \rightarrow v_i} = \alpha_{v_j} \frac{TB_{v_i}}{N(N-1)}, T_{v_i} \leq T_c$$

分配因子 v_i 節點所接收的平均流量

$T_{v_j \rightarrow v_i}$: 水管 $v_j \rightarrow v_i$ 的平均吞吐量

最短路徑參數

$$GC_{v_j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_{v_i} k_{v_j} \left(\frac{P_{v_i v_j}^l}{l!} \right)^{-\beta}$$

節點連邊數量參數

參數對比

水管模型	通信網路
流體(m ³)	封包(packets)
水管	路徑
節點	節點
流量(m ³ /s)	流量(packets/s)
水管最大流量限制(m ³ /s)	節點傳輸能力(packets/s)

$$T_{v_i} = \frac{RB_{v_i}}{N(N-1)}, T_{v_i} \leq c$$

$$T_{v_j \rightarrow v_i} = \frac{GC_{v_j}}{\sum GC_c} \frac{RB_{v_i}}{N(N-1)}$$

R : 單位時間網路中生成的封包

c : 節點傳輸能力

路由策略

封包的傳輸路徑指定為沿著平均吞吐量最低的路徑傳輸,該策略我們稱為靜態的水管路由策略。

$$path(source \rightarrow target) \equiv \min_{v_j \neq v_i} (\sum T_{v_j \rightarrow v_i})$$

由於靜態策略在高附載環境中抗壅塞能力不如預期,我們為靜態水管路由策略增加一項動態參數,修改如下:

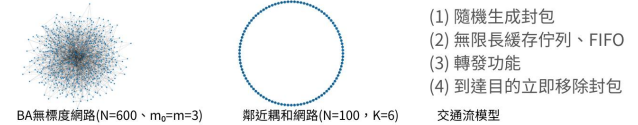
$$path(v_j \rightarrow v_i) \equiv \min_{v_j \neq v_i} (\sum P_{v_i} T_{v_j \rightarrow v_i})$$

$$P_{v_i} = q_{v_i} + 1$$

v_i 節點當前佇列中暫存的封包總數

實驗

實驗中我們會用到兩個很重要的模型,其一是BA無標度網路模型,它透過「優先連接」機制,模擬出真實世界中常見的無尺度網路結構,其二為交通流模型(Traffic flow model),這種模型廣泛應用於模擬交通運輸網路上的流量。



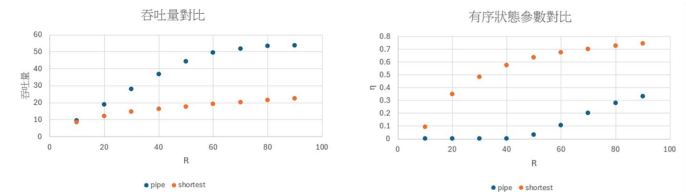
實驗一

目的:測試pipe的各項性能

方法:使用python程式語言以及AI輔助完成實驗所需的代碼

參數: $N=600$ 、 $m_0=m=3$ 的BA無標度模型,各節點的佇列無限長,節點傳輸能力 $c=1$,模擬時間=100步,封包的生成與移除規則按照交通流模型。

步驟:分別使用pipe和shortest path由每單位時間網路生成的封包數量 $R=10$ 到 $R=90$ 進行實驗並對比數據。



實驗二

我們將BA無標度模型改為鄰近耦合網路($N=100$, $K=6$),使用pipe和shortest path分別進行實驗並對比結果如圖五,實驗目的為證明靜態pipe是一種透過修改節點間路徑權重的最短路徑策略,pipe和shortest path在限定條件下等價。

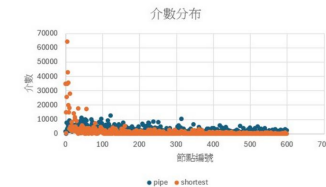
R	method	throughput	avg_latency	avg_hops	avg_delay	drop_rate	peak_queue
10	pipe	7.9	16.08481	7.896203	2.037031	0	18
10	shortest	7.9	16.24177	7.974684	2.036667	0	9
20	pipe	8.16	25.58088	5.786765	4.420584	0	44
20	shortest	8.14	25.61794	5.761671	4.446269	0	31
30	pipe	7.4	27.67973	4.251351	6.510807	0	58
30	shortest	7.45	27.24832	4.249664	6.411876	0	45
40	pipe	7.21	28.34674	3.425798	8.274494	0	64
40	shortest	7.15	28.2042	3.391608	8.315876	0	60

實驗三

目的:測量pipe給定的真實介數

步驟:

- 分別使用pipe和shortest path傳輸封包
- 記錄節點在模擬時間內接收的封包數量
- 計算真實介數



介數

定義: 由拓模結構給定

$$B_{v_i} = \sum_{i \neq k \neq j \in N} a_{v_i v_k}(v_i)$$

真實介數

定義: 由路由策略給定

$$\frac{F_{v_i}}{s} = \frac{RB_{v_i}}{N(N-1)}$$
$$\rightarrow \frac{N(N-1)F_{v_i}}{Rs} = B_{v_i}$$

額外發現

假設路由策略優化的方法是透過修改路徑權重並尋找兩點間權重最小的路徑

條件: 所有節點介數收斂到同一值

最大介數最小化 $\rightarrow$ 收斂的介數中心值: $BC_{v_i} = \frac{1}{N}$

結論

- 為優化最短路徑策略,提出靜態水管模型。
- 抗壅塞能力不如預期,提出動態水管模型,完成策略優化。
- 得出在pipe特定參數下可退回shortest path。
- pipe能有效降低真實介數。
- 假如介數中心值收斂到 $(1/N)$,則此為吞吐量最大之策略。