

Redes Metropolitanas
Estimación de los
Parámetros de Pronóstico de Tráfico

Sr. H. Leijon, UIT



UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES



Redes Metropolitanas

Estimación de los Parámetros de Pronóstico de Tráfico

La planificación de la red de telecomunicaciones debe basarse en un pronóstico de tráfico de sonido. Se necesita una matriz de interés de tráfico fiable, la cual es sin embargo difícil de conseguir ya que los datos del tráfico registrado pueden ser incompletos, de calidad variada y tal vez no relevantes en una situación futura. La metodología aquí presentada se centra en la construcción de la matriz de interés tráfico actual, y es hipotética en la medida que construye la matriz partir de las características del tráfico asumido, usando en lo posible los datos disponibles del tráfico registrado. Esta trabaja paso a paso, corrigiendo los valores de parámetro del modelo asumido entre los pasos, y toma en consideración cambios futuros concebibles en las características de tráfico. El esquema tiene una estructura modular, es decir, los modelos se pueden reemplazar.

1. Introducción

Se necesita un pronóstico de la matriz interés de tráfico para planificar una red de telecomunicaciones en cualquier punto de tiempo futuro T . De preferencia, un elemento de la matriz $A_{kl}^{(T)}$ debe representar el interés de tráfico individual de cualquier área de tráfico k a cualquier área de tráfico l . Un procedimiento de pronóstico comúnmente usado se basa en los supuestos de los intereses de tráfico actual $A_{kl}^{(0)}$, la distribución de abonados actual $n_k^{(0)}$, y un pronóstico confiable de la distribución de abonados futura $n_k^{(T)}$. Además, dicho pronóstico debe hacerse para cada clase de abonado por separado, siendo entonces el pronóstico total el agregado de los pronósticos individuales.

Se ha dedicado más trabajo al estudio de los modelos de crecimiento de tráfico, que al estudio de los intereses de tráfico actual $A_{kl}^{(0)}$. De hecho, la preparación de dicha matriz presenta grandes dificultades. Una red existente usualmente contiene una mezcla de diferentes tipos de equipo analógico, en muchos casos sistemas de barras cruzadas y paso a paso. Las pérdidas de la red son usualmente muy altas, lo cual sugiere altas tasas de intentos de llamadas repetidos. Especialmente en redes paso a paso, tales intentos de llamadas repetidos causan tiempos de ocupación anormal y considerable carga de tráfico adicional ineficiente en las rutas de interconexión. No hay o sólo existen muy limitadas posibilidades de efectuar mediciones de tráfico o de dispersión de llamadas; los tráficos de ruta registrados tampoco pueden usarse para el cálculo de los intereses de tráfico, ya que ellos llevan no sólo tráfico ineficiente, sino también una mezcla anónima de llamadas de diferentes orígenes y destinos.

Aun si tuviéramos un procedimiento para derivar la dispersión de tráfico actual de los registros de tráfico, dicha matriz no será una base relevante para un pronóstico de sonido, ya que se supone que la futura red ofrecerá un servicio mejorado y menos tráfico ineficiente comparado con el actual, presentará un perfil de tráfico distinto, y quizás estará sujeta a cambios en el comportamiento de los abonados debido a un cambio de la política tarifaria, etc.

Resumiendo estos obstáculos, encontramos que $A_{kl}^{(0)}$ es:

- generalmente imposible o difícil de obtener de los registros de tráfico;
- de calidad variada; algunos valores no serán ciertos, otros se habrán perdido;
- no relevante en una situación futura.

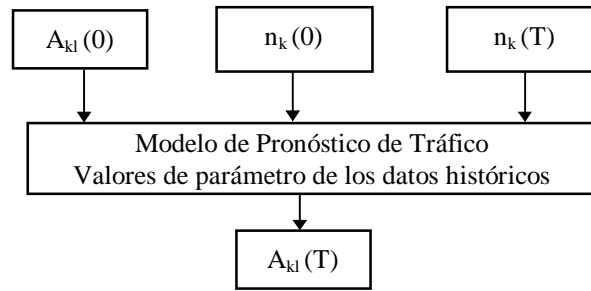


Fig. 1: Esquema de pronóstico tradicional

Lo que realmente necesitamos es un método que utilice los datos registrados disponibles, tanto como sea razonablemente posible, pero que no sea absolutamente dependiente de contar con todos ellos. Esto implica una cantidad considerable de juicio individual y toma de decisiones, es decir, el modelo debe ser una mezcla de todo ello.

La idea principal del procedimiento presentado aquí consiste en definir los valores de parámetro de tráfico que puedan verificarse con respecto a los registros de tráfico, a fin de asegurar, hasta donde sea posible, que no se contradicen con la situación de tráfico actual. Como base para el pronóstico del interés de tráfico futuro los parámetros deben ser adecuados, lo cual significa que debe ser posible actualizar los valores de acuerdo con los cambios esperados en el comportamiento del abonado y en la calidad de la red.

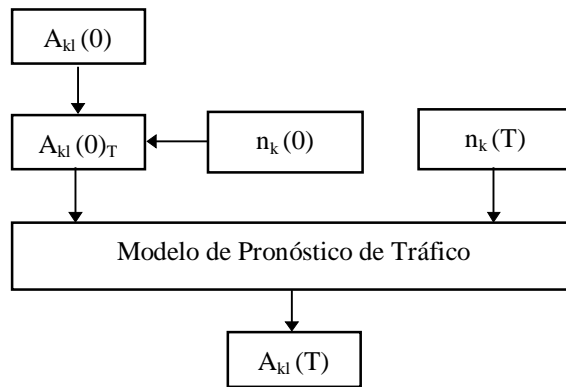


Fig. 2 : Modelo mixto

2. Parámetros Básicos

2.1 Definiciones

- A = Tráfico total
- a = Tráfico por abonado (línea principal)
- y = Intensidad de llamada
- h = Tiempo de ocupación
- K = Tiempo de marcación por dígito
- B = Nivel de congestión
- R = Vector de encaminamiento
- d = Factor de dispersión
- W = Peso del interés de tráfico
- n = No. de líneas de abonados

Subíndices:

- b,c = No. de clase de abonado
- k,l = No. de área de tráfico
- u,v = No. de área de central
- r = No de ruta
- o = Origen
- t = Destino

- . = Cantidad total
- 0 = Tiempo presente
- T = Tiempo futuro
- * = Cantidades registradas
- ' (prima) significa "valor intermedio (temporal)"

2.2 Clases de abonados

Debe definirse un número de clases de abonados. Una clase de abonado dada debe ser razonablemente homogénea en cuanto al nivel de tráfico y el comportamiento de los abonados. También debe ser posible, claro está, estimar la distribución actual y futura del número de abonados por clase. Ejemplos de clases de abonados son:

- a) Residenciales, clase alta y media
- b) Residenciales, clase baja
- c) Líneas de negocios individuales de varias clases
- d) Líneas en pequeñas PBX
- e) Líneas en grandes PBX
- f) Teléfonos monederos
- g) Usuarios de datos, líneas conmutadas
- h) Usuarios de datos, líneas rentadas

2.3 Áreas de tráfico y Áreas de centrales

Un área donde existe una red de telecomunicaciones se divide en un número de áreas de centrales. Los registros de tráfico se relacionan con estas áreas de centrales. En casos favorables conocemos algunos intereses de tráfico actual $A_{uv}^{(0)}$ así como el número de abonados por clase b en cada área, $n_{bu}^{(0)}$. Para propósitos de planificación, sin embargo, necesitamos pronosticar los intereses de tráfico futuro entre áreas de tráfico $A_{kl}^{(T)}$ antes que $A_{uv}^{(T)}$. Además, queremos hacer pronósticos separados para diferentes clases de abonados y luego incorporarlos dentro de un pronóstico total.

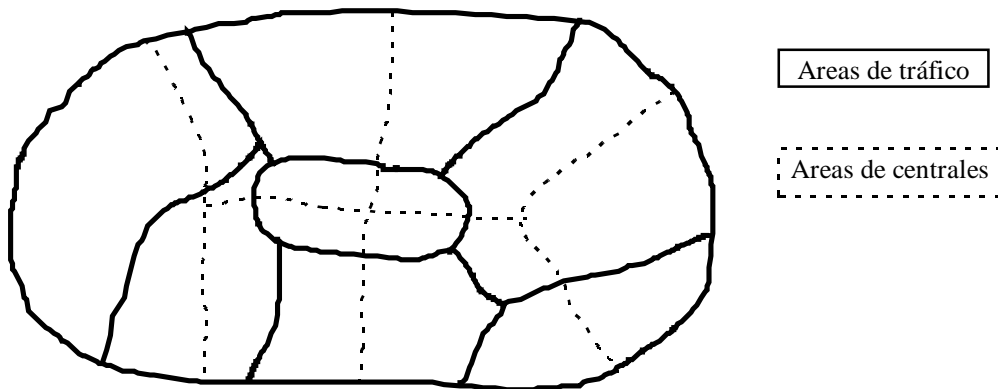


Fig. 3: : Áreas de Tráfico y Áreas de Centrales

Esto significa que debemos dividir el área entera en áreas de tráfico. Ya que necesitamos traducir hacia adelante y hacia atrás entre áreas de centrales y áreas de tráfico durante el proceso de pronóstico, tanto por número de abonados por clase como por intereses de tráfico, cada área de tráfico debe ser relativamente homogénea desde el punto de vista de la clase de abonado.

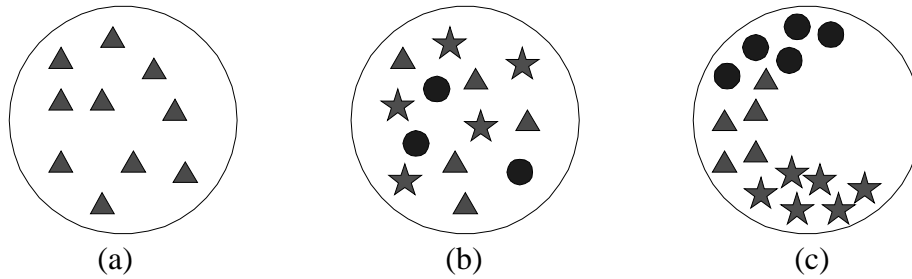


Fig. 4 Areas de Tráfico
 (a) Una clase de abonado: área de tráfico apropiada
 (b) Varias clases, pero bien mezcladas: área de tráfico apropiada
 (c) Área de tráfico inadecuada

Bajo dichas circunstancias, siempre podemos calcular de modo simple:

$$n_{bu} = \sum_k \frac{n_{ku} \cdot n_{bk}}{n_k} \quad \text{y} \quad n_{bk} = \sum_u \frac{n_{ku} \cdot n_{bu}}{n_u}$$

ya que

$$n_{bku} = \sum_k \frac{n_{bu} \cdot n_{bk}}{n_k} \quad \text{y} \quad n_{bu} = \sum_k n_{bku}$$

donde n_{bu} = no. de abonados de clase b en el área de central u;
 n_{bk} = no. de abonados de clase b en el área de tráfico k; etc.

2.4 Registros de tráfico

Por lo menos parte de los siguientes registros de tráfico están usualmente disponibles:

Para centrales:

- Tráficos totales de origen y de destino $A_0^{*(0)}$ y $A_t^{*(0)}$ respectivamente.
- Número total de llamadas de origen y de destino cursadas, $y_0^{*(0)}$ y $y_t^{*(0)}$ respectivamente.

Para rutas de tráfico:

- Tráficos totales cursados $A_r^{*(0)}$
- Número total de llamadas cursadas $y_r^{*(0)}$
- Nivel de congestión $B_r^{*(0)}$

Nuestra matriz para el interés de tráfico actual entre áreas de centrales contiene, por el momento, sólo los tráfico totales de origen y de destino, excepto para los casos de tráfico en los que se emplea control de registrador y señalización de extremo a extremo, donde podemos tener registros o estimados de los tráfico correspondientes entre áreas de centrales $A_{uv}^{*(0)}$.

→					Σ
	?		$A_{uv}^{*(0)}$?	
	?	?	?	?	
	?	?		?	$A_0^{*(0)}_u$
	?	?		?	
Σ			$A_t^{*(0)}_v$?

Fig. 5: Registros de tráfico relacionados a la matriz de tráfico

= valores conocidos

Además, veremos que $\sum A_0^{*(0)}$ es usualmente más grande que $\sum A_t^{*(0)}$. Esta diferencia se debe principalmente al tráfico de marcación por llamadas que fallan antes de llegar a la central de destino, y son las llamadas paso a paso, sobre todo, las responsables de causar de este tráfico inefectivo. A pesar de las pérdidas de la red y la tasa de intentos repetidos, no esperamos que el tráfico de marcación cargue la futura red de interconexión. Este tráfico, por tanto, debe removerse de los valores de tráfico de origen observados.

Lo que se puede hacer hasta aquí es lo siguiente:

(i) Definir $A_u^{*(0)'} = A_0^{*(0)}$ y $A_{.v}^{*(0)'} = A_t^{*(0)}$

como valores iniciales en la matriz y sustraer los valores conocidos $A_{uv}^{*(0)}$ de esta matriz, obteniendo así los nuevos totales

$$A_u^{*(0)''} = A_u^{*(0)'} - \sum_v A_{uv}^{*(0)} \qquad A_{.v}^{*(0)''} = A_{.v}^{*(0)'} - \sum_u A_{uv}^{*(0)}$$

(ii) Ajustar $A_u^{*(0)''}$ a $A_u^{*(0)'''}$ para que

$$\sum A_u^{*(0)'''} = \sum A_{.v}^{*(0)''}$$

Esto puede hacerse de una manera simple, calculando cada tráfico de origen como:

$$A_u^{*(0)'''} = A_u^{*(0)''} \cdot \frac{\sum_v A_{.v}^{*(0)''}}{\sum_u A_u^{*(0)''}}$$

o, sobre bases más individualistas, por ejemplo, calcular primero la cantidad global de tráfico ineficiente por llamada de origen

$$h_i = \frac{\sum A_0^{*(0)} - \sum A_t^{*(0)}}{\sum y_o^{*(0)}}$$

o preferentemente si $y_{uv}^{*(0)}$ que corresponde a los valores conocidos $A_{uv}^{*(0)}$ también se conoce,

$$h_i = \frac{\sum A_0^{*(0)} - \sum A_t^{*(0)}}{\sum y_o^{*(0)} - \sum y_{uv}^{*(0)}}$$

y luego ajustando cada tráfico de origen como:

$$A_u^{*(0)'''} = A_u^{*(0)''} - y_o^{*(0)}_u \cdot h_i \qquad y \qquad A_{.v}^{*(0)'''} = A_{.v}^{*(0)''} - \left[y_o^{*(0)}_u - \sum_v y_{uv}^{*(0)} \right] \cdot h_i$$

respectivamente.

(iii) Ahora añadimos de nuevo los valores $A_{uv}^{*(0)}$ a la matriz y aceptamos los nuevos tráficos de origen como totales:

$$A_{u.}^{*(0)} = A_{u.}^{*(0)'''} + \sum_v A_{uv}^{*(0)} \qquad A_{.v}^{*(0)} = A_{.v}^{*(0)''} + \sum_u A_{uv}^{*(0)}$$

\Rightarrow					Σ
	?		$A_{uv}^{*(0)}$?	
	?	?	?	?	
	?	?		?	$A_{u.}^{*(0)}$
	?	?		?	
Σ			$A_{.v}^{*(0)}$		$A_{..}^{*(0)}$

Fig. 6: Matriz de tráfico entre centrales, ajustada y restablecida

= valores conocidos

2.5 Parámetros de pronóstico

Nuestra meta consiste en pronosticar los intereses de tráfico futuro entre áreas de tráfico, $A_{kl}^{(T)}$. Por supuesto que desde el punto de vista de la planificación es valioso tener la posibilidad de separar pronósticos para las diferentes clases de tráfico; por ejemplo, datos de tráfico sobre líneas rentadas, tráfico negocio, etc. Pero además de esto, el pronóstico final es mucho más confiable si es el agregado de los pronósticos separados. Otro punto es que un pronóstico de los tráficos totales de origen y de destino, $A_k^{(T)}$ y $A_l^{(T)}$ respectivamente, es generalmente más exacto que el pronóstico punto a punto, $A_{kl}^{(T)}$. El pronóstico ideal consiste entonces en lo siguiente:

- Se pronostican los tráficos de origen y de destino por clase de abonado y por área de tráfico, $A_{bk}^{(T)}$ y $A_{b,l}^{(T)}$ respectivamente.
- Estos se agregan, dando los tráficos totales de origen y de destino por área de tráfico, $A_k^{(T)}$ y $A_l^{(T)}$ respectivamente.
- Independientemente de los pronóstico de tráfico total, se pronostican los tráficos punto a punto entre clases de abonados, $A_{bckl}^{(T)}$.
- Estos se agregan, dando los tráficos punto a punto para todos los abonados, $A_{kl}^{(T)}$.
- Los pronósticos de los tráficos de origen y de destino, $A_k^{(T)}$ y $A_l^{(T)}$ respectivamente, se aceptan y así son distribuidos en la matriz, usando los valores de pronóstico separado punto a punto $A_{kl}^{(T)}$ como factores de distribución.

Consecuentemente, necesitamos parámetros de pronóstico de tráfico que puedan contrastarse con los registros de tráfico disponibles, adaptarse a las condiciones futuras, y además puedan usarse para el cálculo de las cantidades deseadas de tráfico, en combinación con los datos de distribución de abonados. Tres de dichos parámetros de pronóstico son centrales para el procedimiento propuesto:

- a_b = tráfico total de origen por línea de abonado en la clase de abonado b . La propiedad de este parámetro consiste en ser relativamente universal, es decir, existe una pequeña variación entre diferentes lugares de carácter y etapa de desarrollo similares, y también es bastante estable en el tiempo.

- d_{bc} = factor de dispersión de tráfico. Muestra cómo el tráfico originado por abonado de clase b se esparce sobre todas las clases. $\sum d_{bc} = 1$. La propiedad del parámetro es un poco menos universal que el primero, es decir, está más influido localmente y sus valores también cambian más con el desarrollo del área.
- W_{bckl} = peso del interés de tráfico. El parámetro corresponde a la tendencia de un abonado de clase b, en el área de tráfico k de llamar a un abonado en clase c porque el último está en el área l. Por ejemplo, un abonado residencial de clase alta puede mostrar una clara tendencia a llamar a pequeñas tiendas, siempre que estas tiendas estén situadas en la misma área o en el centro de la ciudad, pero menor tendencia a llamar a negocios localizados más lejos o situados en un distrito residencial de clase más baja.

Por supuesto que este parámetro es de carácter enteramente local y sus valores pueden también cambiar considerablemente con el desarrollo del área. Afortunadamente, los pesos individuales se pueden tomar como cifras muy redondas sin producir errores serios en las cantidades de tráfico agregado.

3. Procedimiento de Pronóstico

3.1 Cálculos del momento actual

La meta consiste en encontrar valores actuales realistas de los parámetros pronosticados $a_b^{(0)}$, $d_{bc}^{(0)}$ y $W_{bckl}^{(0)}$ para áreas de tráfico bien definidas. Puede aplicarse el siguiente procedimiento:

- a) Recogemos las partes de los siguientes datos disponibles:

$A_r^{*(0)}$ = Tráficos de ruta

$Y_r^{*(0)}$ = Intensidades de llamadas cursadas en las rutas

$B_r^{*(0)}$ = Nivel de congestión en las rutas

$A_0^{*(0)}$ = Tráficos de central de origen

$A_t^{*(0)}$ = Tráficos de central de destino

$Y_0^{*(0)}$ = Intensidades de llamadas cursadas de origen

$Y_t^{*(0)}$ = Intensidades de llamadas cursadas de destino

$A_{uv}^{*(0)}$ = Tráficos central a central

$Y_{uv}^{*(0)}$ = Intensidades de llamadas central a central

$R_{uv}^{*(0)}$ = Vector de encaminamiento para tráfico paso a paso

- b) Definimos las clases de abonados y áreas de tráfico, lo cual implica que deben prepararse las siguientes matrices de relación:

$n_{bk}^{(0)}$ = No. de abonados de clase b en el área k

$n_{ku}^{(0)}$ = No. de abonados en el área de tráfico k que están conectados al área de central u.

Debido al principio de homogeneidad aplicado a la selección de áreas de tráfico, $n_{bu}^{(0)}$ puede derivarse de estas matrices de relación.

c) La sección 2.4 mostraba cómo los datos registrados pueden usarse para una preparación parcial de la matriz de tráfico $A_{uv}^{*(0)}$ después de la remoción del tráfico ineficiente estimado. Ya que los tráficos punto a punto en la matriz se usarán como valores de verificación durante el cálculo de los valores de parámetro pronosticados, se les debe incluir alguna clase de intervalo de confianza. El tamaño de un intervalo de confianza depende, por supuesto, de cómo se derivó el valor particular de tráfico central a central. Esto se ilustra mejor en los siguientes ejemplos:

- Digamos que el tráfico de una central a otra se cursa en una ruta de baja pérdida directa donde se registra apropiadamente. El medidor muestra 100 erl. Si consideramos la posible desviación del valor medio verdadero en un 5% a lo sumo, entonces $A_{uvmin}^{*(0)} = 95 \text{ erl}$, $A_{uvmax}^{*(0)} = 105 \text{ erl}$.
- Ahora tomemos el caso en el que se emplea encaminamiento alternativo. Asumamos que tenemos registrado el tráfico cursado en la rutas directas de alto uso = 80 erl, y que el nivel de congestión en la misma ruta = 20%. Si suponemos que hemos estimado la congestión punto a punto en cerca del 5%, por ejemplo, usando un probador de ruta de tráfico podemos entonces calcular el tráfico total llegando a la central de destino como $80 [1-0.05] / [1-0.20] = 95 \text{ erl.}$; es decir, 80 erl. van vía la ruta de alto uso y 15 erl. van vía la red tándem. Pero la cifra de 15 erl. es altamente incierta. Digamos que hay una posible desviación del 60% ó 9 erl. Por tanto podemos poner $A_{uvmin}^{*(0)} = 86 \text{ erl.}$, y $A_{uvmax}^{*(0)} = 104 \text{ erl.}$
- Casos donde una gran parte de todo el tráfico se encamina por la red tándem pueden dar lugar al aumento de tal incertidumbre en los tráficos punto a punto estimados, que el valor de dichos estimados es dudoso.

d) Ahora determinamos el tráfico de origen por línea de abonados en cada clase de abonados, $a_b^{(0)}$, de la siguiente manera: Resolver el sistema de ecuación:

$$\sum_b n_{bu}^{(0)} \cdot a_b^{(0)} = A_u^{*(0)} \quad u = 1, 2, \dots, U$$

donde U = no. de áreas de centrales.

Si el número total de clases de abonados es igual a S, entonces tendremos $\binom{U}{S}$ grupos de soluciones.

El supuesto de que el tráfico de origen por abonado en una clase particular es constante con independencia del área de la central por supuesto no puede ser absolutamente cierto, y ya que los datos conocidos $n_{bu}^{(0)}$ y $A_u^{*(0)}$, además, son más o menos inciertos, algunos grupos se verán algo extraños ya que también tendrán valores extremos, por ejemplo, valores negativos y valores muy altos. Por suerte, los valores extremadamente bajos y extremadamente altos generalmente pertenecen a los mismos grupos. Lo que hacemos es remover esos grupos del lote. De los grupos aceptables que quedan, calculamos los valores más probables de $a_b^{(0)}$. Hay varias maneras de hacerlo. La más simple es considerar cada clase b separadamente y estimar $a_b^{(0)}$ como la mediana de todos los valores aceptados. Otra manera es aplicar el método de mínimos cuadrados a cada clase individualmente, o considerar todas las clases simultáneamente. La flexibilidad del grupo así compuesto puede incrementarse determinando un intervalo de confianza para cada valor $a_b^{(0)}$. Nuevamente existen varias posibilidades. Se puede usar un intervalo de confianza del 95% calculado estadísticamente, o un porcentaje fijo alrededor del valor escogido, o quizás, el rango total de valores de los diferentes grupos.

e) Necesitamos del tráfico de destino por línea de abonado en cada clase, $a_c^{(0)}$, como un valor de verificación cuando determinamos los factores de dispersión de tráfico, de modo que podamos repetir el procedimiento como d), pero ahora resolviendo el sistema de ecuación

$$\sum_c n_{vc}^{(0)} \cdot a_c^{(0)} = A_v^{*(0)} \quad v = 1, 2, \dots, U$$

De nuevo, los grupos que contienen valores extremos se rechazan, y los valores representativos $a_c^{(0)}$ e intervalos de confianza se calculan en base a aquéllos que permanecen.

f) Llegamos ahora al delicado problema de determinar los factores de dispersión de tráfico $d_{bc}^{(0)}$. La definición de d_{bc} es: la proporción del tráfico de origen por líneas de abonado de clase b que termina entre los abonados de clase c. Consecuentemente, $\sum d_{bc} = 1$, y en la matriz $d_{bc}^{(0)}$, agrupamos los valores fila por fila. Para entender la idea, imaginemos que la Figura 7 es el dibujo que se muestra en una pantalla de datos visual.

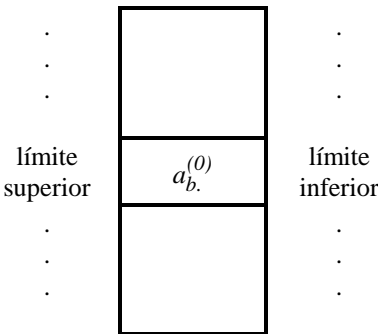
Para guiarnos, nuestros valores $a_b^{(0)}$ determinados anteriormente se muestran a la izquierda de la Figura 7. Debemos llenar la matriz arriba a la derecha, fila por fila, basados en nuestra experiencia y razonamiento y usando información local. En la parte inferior se muestran los valores determinados anteriormente con sus intervalos de confianza $a_{c'}^{(0)}$.

Cuando hayamos establecido todos los valores $d_{bc}^{(0)}$, nuestra computadora calcula los valores resultantes:

$$a_{c'}^{(0)} = \frac{\sum_b n_b^{(0)} \cdot a_b^{(0)} \cdot d_{bc}^{(0)}}{n_c^{(0)}}$$

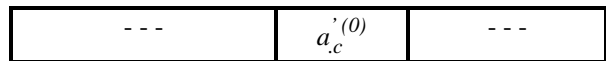
aparecen inmediatamente debajo de la matriz $d_{bc}^{(0)}$.

i) estos valores son usados como guía cuando ...



	---	c	---	Σ
.	ii) ...estos valores se establecen...	.		.
.		.		.
.		.		.
b	---	$d_{bc}^{(0)}$	---	1
.		.		.
.		.		.
.		.		.

iii) ... dando este resultado...



iv)... el cual es verificado con respecto a estos valores!

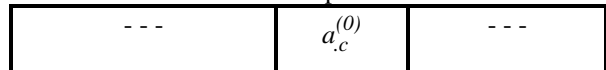


Fig. 7 : Estableciendo y verificando factores de distribución de tráfico

El próximo paso consiste en comparar estos valores resultantes $a_{c'}^{(0)}$ con los valores verificados $a_c^{(0)}$ que se mostraron más adelante y luego decidir si las diferencias observadas se puede aceptar o no. Si no, la matriz $d_{bc}^{(0)}$ se revisa, lo cual es muy sencillo porque, por ejemplo, altos valores $a_{c'}^{(0)}$ se relacionan con altos factores $d_{bc}^{(0)}$, etc.

g) El peso de la distribución de tráfico W_{bckl} se define como una medida de la tendencia de un abonado de clase b, en el área de tráfico k, de llamar a un abonado de la clase c debido a que aquel abonado está en el área de tráfico 1. Por tanto, cada par de valores b,c se puede tratar separadamente en el proceso de fijar los valores $W_{bckl}^{(0)}$. Además se puede usar un grupo muy limitado de valores redondos, por ejemplo, tres valores 1, 2 o 3. En este caso, 1="bajo", 2="normal", y 3="alto". Por supuesto, puede haber motivo para usar una escala más fina, a saber, cinco valores 1,2,3,4, o 5. En este caso, 1="muy bajo", 2="bajo", 3="normal", 4="alto", y 5="muy alto".

Nuevamente, imaginemos que miramos los datos que se presentan. Si fijamos un par de valores b,c, aparece una matriz llena con 3:s. Los 3:s son valores predeterminados, los cuales se usarán si no fijamos otros valores.

h) Se han determinado todos los parámetros de tráfico básicos, entonces podemos calcular:

$$A_{bckl}^{(0)} = \frac{a_b^{(0)} \cdot d_{bc}^{(0)} \cdot n_{bk}^{(0)} \cdot n_{cl}^{(0)} \cdot W_{bckl}^{(0)}}{\sum_l n_{cl}^{(0)} \cdot W_{bckl}^{(0)}}$$

$$A_{kl}^{(0)} = \sum_b \sum_c A_{bckl}^{(0)}$$

y

$$A_{uv}^{(0)} = \sum_k \sum_l A_{kl}^{(0)} \cdot \frac{n_{ku}^{(0)} \cdot n_{lv}^{(0)}}{n_k^{(0)} \cdot n_l^{(0)}}$$

Los valores $A_{uv}^{(0)}$ se pueden verificar con relación a los valores conocidos $A_{uv}^{*(0)}$ (si los hubiera). Pero los tráficos de ruta registrados $A_r^{*(0)}$ también deben utilizarse para verificación!

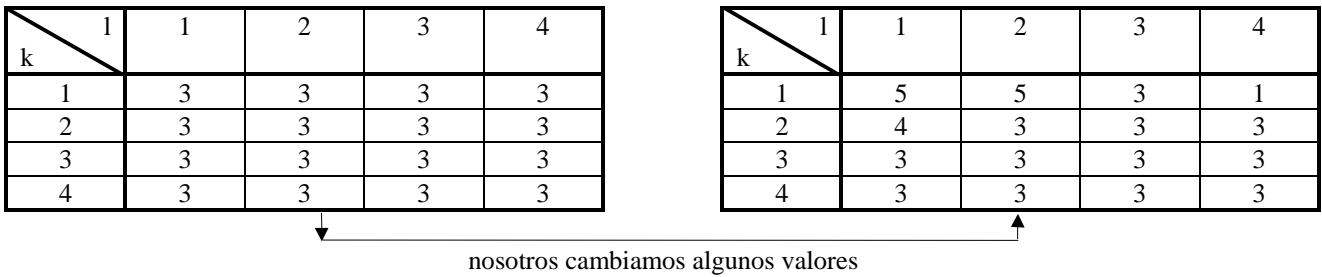


Fig. 8 : Establecimiento de valores $W_{bckl}^{(0)}$.

i) Cálculo de valores de tráfico de ruta hipotéticos : suponga que todos los intentos de llamadas y se hacen en la central u para que algún tráfico llegue a la central v. Suponga también que las llamadas se han establecido en un parte paso a paso de la red, vía rutas números.1, 2, 3, 4, 5 es ese orden, donde la ruta número.1 es la ruta de salida desde la central u, y la ruta número 4 es la ruta de entrada a la central v. Los niveles de congestión son B_1 , B_2 , B_3 , y B_4 respectivamente. Entonces, se puede mostrar que casi $y(1 - B_1) \cdot (B_2)$ llamadas fueron cursados por la ruta 1 pero rechazadas por la ruta 2. Lo que sucedió en la ruta 1 es que el próximo dígito se marcó luego que la llamada se perdió. Para ir un paso mas allá: $y(1 - B_1) \cdot (B_2) \cdot (B_3)$ llamadas son cursadas por la ruta 1, y aceptadas por la ruta 2, pero rechazadas por la ruta 3. Para estas llamadas, se marcaron, 2 dígitos después de la aceptación en la ruta 1.

Siguiendo con el mismo tipo de razonamiento y dejando de lado algunos factores perturbadores como comportamiento extraño de abonado, etc., pero comenzando en cambio por la central de destino, podemos calcular, aproximadamente, la contribución del caso de tráfico uv al tráfico cursado en la ruta r como:

$$A_{ruv}^{(0)} = y_{uv}^{(0)} \cdot \left[\frac{K \cdot B_2}{(1 - B_2)(1 - B_3)(1 - B_4)} + \frac{2 \cdot K \cdot B_3}{(1 - B_3)(1 - B_4)} + \frac{3 \cdot K \cdot B_4}{1 - B_4} + 3 \cdot K + h_t^{(0)} \right]$$

donde

K = Tiempo de marcación por dígito

$h_t^{(0)}$ = Tiempo de ocupación restante por llamadas que llegan a las centrales de destino

$h_{uv}^{(0)}$ = Número de llamadas de la central u que llegan a la central v.

El procedimiento de cálculo general puede ser el siguiente:

- Estimar $h_t^{(0)} = \frac{A_t^{*(0)}}{y_t^{*(0)}}$
- Estimar $y_{uv}^{(0)} = \frac{A_{uv}^{(0)}}{h_t^{(0)}}$
- Estimar la contribución de tráfico en la ruta r del caso de tráfico uv como: $A_{ruv}^{(0)} = f[A_{uv}^{(0)}, R_{uv}^{(0)}, B_{uv}^{(0)}]$

donde

$A_{uv}^{(0)}$ se calculó anteriormente

$R_{uv}^{(0)}$ es el vector de encaminamiento que nos dice qué rutas se usan, y en qué orden

$B_{uv}^{(0)}$ son los niveles de congestión de las rutas definidas en el vector de encaminamiento. Si los valores individuales de congestión no se conocen, una solución es usar en vez de ellos un valor promedio común estimado.

- Los $A_{ruv}^{(0)}$ valores se pueden agregar dentro de los tráficos de ruta totales:

$$A_r^{(0)} = \sum_u \sum_v A_{ruv}^{(0)}$$

j) Es tiempo ahora de verificar nuestros valores hipotéticos $A_{uv}^{(0)}$ y $A_r^{(0)}$ con respecto a los registros de tráfico $A_{uv}^{*(0)}$ y $A_r^{*(0)}$ respectivamente. Las diferencias que son muy grandes indican principalmente que los valores $W_{bckl}^{(0)}$ deben revisarse. Sin embargo, desviaciones más pequeñas pueden ignorarse ya que toda la tarea ha sido hasta ahora bastante artificiosa.

Dejemos convenientemente a nuestra computadora preparar dos listas para mostrar los datos; una lista mostrará los casos malos de tráfico de ruta y la otra mostrará los casos malos de tráfico central a central. La computadora escogerá primero el peor caso, luego el siguiente al peor, etc.

Ahora, las grandes desviaciones absolutas son más serias que las pequeñas, pero por otro lado, las grandes desviaciones relativas son también más serias que las pequeñas. Por tanto, debemos buscar un compromiso entre estos dos principios. Además, debemos también hacer una excepción para ciertas variaciones razonables alrededor del valor registrado, digamos un p% para los tráficos de ruta. Como un ejemplo, la expresión:

$$\frac{\left[\left| A_r^{*(0)} - A_r^{(0)} \right| - A_r^{*(0)} \cdot \frac{P}{100} \right]^2}{A_r^{*(0)}}$$

se puede usar para encontrar el peor caso para la lista del tráfico de ruta. La Figura 9 muestra cómo puede diseñarse esta lista. La lista del tráfico central a central se prepara de manera similar. En la sección b) se describió una manera de calcular los intervalos de confianza para los tráficos central a central.

$u = \dots, v = \dots, A_r^{*(0)} = K, A_r^{(0)} = K$					
b	c	k	l	W_{bckl}	Contribución a $A_r^{(0)}$

Fig. 9 : Lista para la verificación del tráfico de ruta

k) Hasta ahora hemos estimado $a_b^{(0)}$ como valores comunes a todas las áreas de centrales. Este supuesto parece ser el único lógico ya que las áreas de centrales no son homogéneas desde los puntos de vista socioeconómico ni de categoría de abonados. Sin embargo, lo que actualmente necesitamos para planeamiento son parámetros de pronóstico relacionados a las áreas de tráfico, las cuales se escogerán de manera que sean homogéneas. Esto significa que usualmente será posible identificar el carácter socio económico específico de cada área particular.

Esto de nuevo lleva a la posibilidad de definir valores diferentes a_b para las diferentes áreas, k, esto es, $a_{b,k}$, lo cual afinará y mejorará nuestros pronósticos.

El procedimiento de estimación será el siguiente:

1. mantener $W_{bckl}^{(0)}$ (sin cambio);
2. mantener $d_{bc}^{(0)}$ (sin cambio);
3. fijar $a_{b,k}^{(0)}$ usando los valores $a_b^{(0)}$ obtenidos anteriormente como guía;
4. Calcular los tráficos hipotéticos punto a punto $A_{uv}^{(0)}$ como:

$$A_{uv}^{(0)} = \sum_k \sum_l A_{kl}^{(0)} \cdot \frac{n_{ku}^{(0)} \cdot n_{lv}^{(0)}}{n_k^{(0)} \cdot n_l^{(0)}}$$

donde

$$A_{kl}^{(0)} = \sum_b \sum_c A_{bckl}^{(0)}$$

y

$$A_{bckl}^{(0)} = a_b^{(0)} \cdot d_{bc}^{(0)} \cdot n_{bk}^{(0)} \cdot \frac{n_{cl}^{(0)} \cdot W_{bckl}^{(0)}}{\sum_l n_{cl}^{(0)} \cdot W_{bckl}^{(0)}}$$

5. Verificar los valores hipotéticos $A_{uv}^{(0)}$ con respecto a los valores $A_{uv}^{(0)}$ ya aprobados (ver párrafo 3.1.j), ajustar $A_{b,k}^{(0)}$ hasta obtener un acuerdo razonable.
6. Si el resultado no es satisfactorio, los valores, $W_{bckl}^{(0)}$ y/o $d_{bc}^{(0)}$ se pueden revisar.

3.2 Cálculos para el punto de tiempo futuro

El objetivo principal de este documento ha sido presentar un procedimiento para encontrar los valores actuales de algunos parámetros de tráfico que son importantes para un pronóstico de tráfico futuro. Por tanto, sólo se harán breves comentarios sobre cómo estos parámetros se deben actualizar de modo tal que continúen siendo relevantes en una situación futura.

El perfil de tráfico de las horas del día está usualmente deformado en las redes más viejas. Por ejemplo, la relación de tráfico de la hora pico actual puede ser, digamos, 1/12, mientras que si la red estuviera trabajando a un buen nivel de calidad de servicio el valor de la misma relación pudiera ser, digamos, 1/8. Esto indica que los parámetros de tráfico necesitan ser revisados. Dependiendo de cuánto sabemos o cuánto podemos razonablemente suponer acerca de las condiciones actuales, esta revisión puede hacerse de varias maneras. Dos ejemplos:

Primer ejemplo:

1. Ajustar los valores individuales de $A_{uv}^{(0)}$ para los cambios esperados en los perfiles de tráfico.
2. Calcular los nuevos valores de $A_u^{(0)}$.
3. Calcular los nuevos grupos de $a_b^{(0)}$, correspondientes a aquéllos que fueron aceptados previamente.
4. Calcular los nuevos valores de $a_b^{(0)}$ pero sin cambiar $d_{bc}^{(0)}$ o $W_{bckl}^{(0)}$!

Segundo ejemplo:

Revisar los valores de $a_b^{(0)}$ directamente. Luego actualizar $a_b^{(0)}$, $d_{bc}^{(0)}$ y $W_{bckl}^{(0)}$ para reflejar las esperadas condiciones futuras de desarrollo y las características de abonados, $a_b^{(T)}$, $d_{bc}^{(T)}$ y $W_{bckl}^{(T)}$ respectivamente. Al combinarlos con el pronóstico de abonados $n_{bk}^{(T)}$, resulta el cálculo de la matrices de interés de tráfico futuro.

4. Conclusiones

El procedimiento de pronóstico presentado aquí tiene las siguientes propiedades:

1. Los datos registrados se usan lo más razonablemente posible para el cálculo de los valores de los parámetros de pronóstico.
2. La experiencia del planificador y el conocimiento local se usan para establecer los valores hipotéticos de los parámetros de pronóstico restantes.
3. Los valores hipotéticos se utilizan para calcular las cantidades que se pueden verificar con respecto a los datos registrados.
4. Donde se obtienen desviaciones serias se revisan los valores del parámetro de pronóstico mediante decisiones que toma el planificador.
5. Los cálculos se basan en algoritmos simples y reemplazables, adecuados para aplicaciones en computadoras. Bien pueden utilizarse computadoras personales.
6. Este es un procedimiento paso a paso donde el juicio individual y la toma de decisiones son elementos esenciales para cada paso. Así, el procedimiento se adecua mejor para uso interactivo.
7. La sensibilidad del planificador, basada en variaciones de los valores de los parámetros básicos, es por tanto de fácil investigación.
8. El pronóstico también se actualiza fácilmente cuando más datos de tráfico se haya recolectado.