

Sistema de ayuda a la toma de decisión para inversiones en redes de telecomunicaciones y telefonía móvil bajo incertidumbre en la demanda

Autor: Alberto Bengoa Moreno
Director: Carlos Vázquez Cendón

Departamento de Matemáticas
Facultade de Informática de A Coruña

19 de julio de 2005

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Índice

- 1 **Introducción**
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Inversiones en redes de comunicaciones (I)

Infraestructuras de comunicaciones

- Proveedores de acceso a Internet: redes de fibra óptica \Rightarrow ancho de banda máximo para transmisión de datos
- Operadoras de telefonía móvil: clústers de telefonía \Rightarrow capacidad máxima de llamadas simultáneas atendidas

Infraestructuras

- Proporcionan beneficios a la empresa
- Necesitan de inversiones de capital

Demanda

Es el factor principal a tener en cuenta

- Alta incertidumbre
- Incidencia directa en el beneficio obtenido

Inversiones en redes de comunicaciones (I)

Infraestructuras de comunicaciones

- Proveedores de acceso a Internet: redes de fibra óptica \Rightarrow ancho de banda máximo para transmisión de datos
- Operadoras de telefonía móvil: clústers de telefonía \Rightarrow capacidad máxima de llamadas simultáneas atendidas

Infraestructuras

- Proporcionan beneficios a la empresa
- Necesitan de inversiones de capital

Demanda

Es el factor principal a tener en cuenta

- Alta incertidumbre
- Incidencia directa en el beneficio obtenido

Inversiones en redes de comunicaciones (I)

Infraestructuras de comunicaciones

- Proveedores de acceso a Internet: redes de fibra óptica \Rightarrow ancho de banda máximo para transmisión de datos
- Operadoras de telefonía móvil: clústers de telefonía \Rightarrow capacidad máxima de llamadas simultáneas atendidas

Infraestructuras

- Proporcionan beneficios a la empresa
- Necesitan de inversiones de capital

Demanda

Es el factor principal a tener en cuenta

- Alta incertidumbre
- Incidencia directa en el beneficio obtenido

Inversiones en redes de comunicaciones (y II)

Objetivo

Mejora de infraestructuras para un máximo beneficio y mínima inversión

Riesgos

- Poca demanda e infraestructuras con demasiada capacidad
- Mucha demanda e infraestructuras con capacidad insuficiente

en ambos casos se pierden beneficios: necesidad de realizar las inversiones de forma correcta.

Toma de decisiones clásica

Históricamente, se ha usado la regla

utilización > 50 % *Capacidad máxima* ⇒ **Mejorar la red**

Esta regla provoca **sobredimensionamiento** ⇒ pérdidas económicas

Inversiones en redes de comunicaciones (y II)

Objetivo

Mejora de infraestructuras para un máximo beneficio y mínima inversión

Riesgos

- Poca demanda e infraestructuras con demasiada capacidad
- Mucha demanda e infraestructuras con capacidad insuficiente

en ambos casos se pierden beneficios: necesidad de realizar las inversiones de forma correcta.

Toma de decisiones clásica

Históricamente, se ha usado la regla

utilización > 50 % *Capacidad máxima* ⇒ **Mejorar la red**

Esta regla provoca **sobredimensionamiento** ⇒ pérdidas económicas

Inversiones en redes de comunicaciones (y II)

Objetivo

Mejora de infraestructuras para un máximo beneficio y mínima inversión

Riesgos

- Poca demanda e infraestructuras con demasiada capacidad
- Mucha demanda e infraestructuras con capacidad insuficiente

en ambos casos se pierden beneficios: necesidad de realizar las inversiones de forma correcta.

Toma de decisiones clásica

Históricamente, se ha usado la regla

$\text{utilización} > 50\% \text{Capacidad máxima} \Rightarrow \text{Mejorar la red}$

Esta regla provoca **sobredimensionamiento** \Rightarrow pérdidas económicas

Nueva solución a la toma de decisiones

Valoración de redes

Desarrollo de modelos matemáticos que gobiernan el valor de las inversiones realizadas

- Similares a los de valoración de opciones
- Demanda: factor principal de riesgo
- Basados en ecuaciones en derivadas parciales de segundo orden

Los modelos proporcionan una medida **objetiva** para comparar diferentes inversiones \Rightarrow elegir la mejor \Rightarrow maximizar el beneficio

Nueva solución a la toma de decisiones

Valoración de redes

Desarrollo de modelos matemáticos que gobiernan el valor de las inversiones realizadas

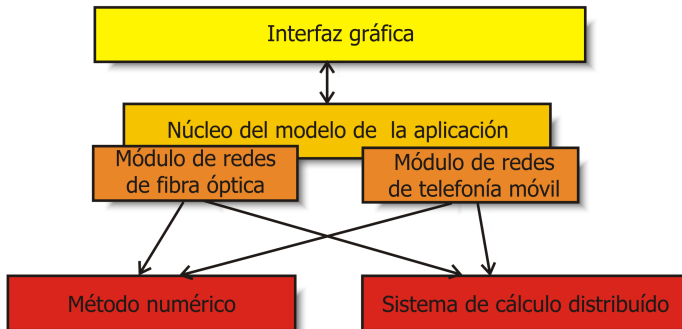
- Similares a los de valoración de opciones
- Demanda: factor principal de riesgo
- Basados en ecuaciones en derivadas parciales de segundo orden

Los modelos proporcionan una medida **objetiva** para comparar diferentes inversiones \Rightarrow elegir la mejor \Rightarrow maximizar el beneficio

Objetivos del proyecto

Aplicación software

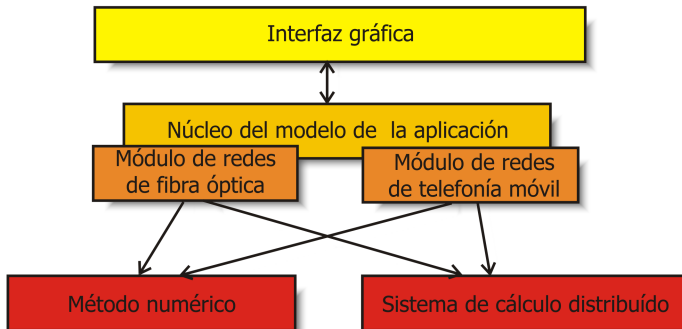
Modelos matemáticos+Métodos numéricos+Interfaz gráfica



Objetivos del proyecto

Aplicación software

Modelos matemáticos+Métodos numéricos+Interfaz gráfica



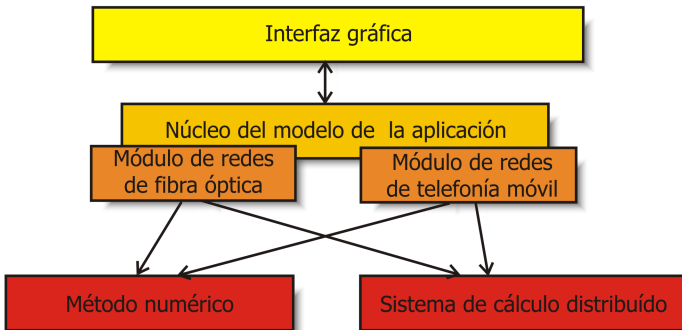
Objetivos del proyecto

Aplicación software

Modelos matemáticos+Métodos numéricos+Interfaz gráfica



Sistema de ayuda empresarial para toma de decisiones



Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Valoración de líneas de fibra óptica

Líneas de fibra óptica

- Tienen un ancho de banda máximo
- Pueden mejorarse a líneas de mayor capacidad
- Beneficio
 - Directamente proporcional al ancho de banda utilizado
- Costes
 - De mejora a una línea superior
 - De mantenimiento



Bases del modelo

Ecuación de la línea

Valor de la línea $V=V(Q,t) \Rightarrow$ gobernado por una ecuación parabólica

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

- Dependiente de la demanda de ancho de banda y del tiempo
- Demanda: proceso estocástico $dQ = \mu Q dt + \sigma Q dZ$
- Mantenimiento de la línea y beneficio: varias formas de considerarlos. Por ejemplo

$$V(q, t^-) = V(q, t^+) - M_i d \Delta t_m$$

$$R(Q, t) = \min(Q, \bar{Q}_i) d P_0 e^{(-\alpha t)}$$

Bases del modelo

Ecuación de la línea

Valor de la línea $V=V(Q,t) \Rightarrow$ gobernado por una ecuación parabólica

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

- Dependiente de la demanda de ancho de banda y del tiempo
- Demanda: proceso estocástico $dQ = \mu Q dt + \sigma Q dZ$
- Mantenimiento de la línea y beneficio: varias formas de considerarlos. Por ejemplo

$$V(q, t^-) = V(q, t^+) - M_i d \Delta t_m$$

$$R(Q, t) = \min(Q, \bar{Q}_i) d P_0 e^{(-\alpha t)}$$

Bases del modelo

Ecuación de la línea

Valor de la línea $V=V(Q,t) \Rightarrow$ gobernado por una ecuación parabólica

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

- Dependiente de la demanda de ancho de banda y del tiempo
- Demanda: proceso estocástico $dQ = \mu Q dt + \sigma Q dZ$
- Mantenimiento de la línea y beneficio: varias formas de considerarlos. Por ejemplo

$$V(q, t^-) = V(q, t^+) - M_i d \Delta t_m$$

$$R(Q, t) = \min(Q, \bar{Q}_i) d P_0 e^{(-\alpha t)}$$

Bases del modelo

Ecuación de la línea

Valor de la línea $V=V(Q,t) \Rightarrow$ gobernado por una ecuación parabólica

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

- Dependiente de la demanda de ancho de banda y del tiempo
- Demanda: proceso estocástico $dQ = \mu Q dt + \sigma Q dZ$
- Mantenimiento de la línea y beneficio: varias formas de considerarlos. Por ejemplo

$$V(q, t^-) = V(q, t^+) - M_i d \Delta t_m$$

$$R(Q, t) = \min(Q, \bar{Q}_i) d P_0 e^{(-\alpha t)}$$

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- 1 Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- 2 Horizonte de inversión: línea amortizada (*valor* = 0)
- 3 Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- 4 Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- 5 Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- 1 Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- 2 Horizonte de inversión: línea amortizada (*valor* = 0)
- 3 Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- 4 Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- 5 Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- 1 Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- 2 Horizonte de inversión: línea amortizada ($valor = 0$)
- 3 Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- 4 Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- 5 Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- 1 Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- 2 Horizonte de inversión: línea amortizada (*valor* = 0)
- 3 Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- 4 Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- 5 Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- ➊ Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- ➋ Horizonte de inversión: línea amortizada ($valor = 0$)
- ➌ Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- ➍ Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- ➎ Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (I)

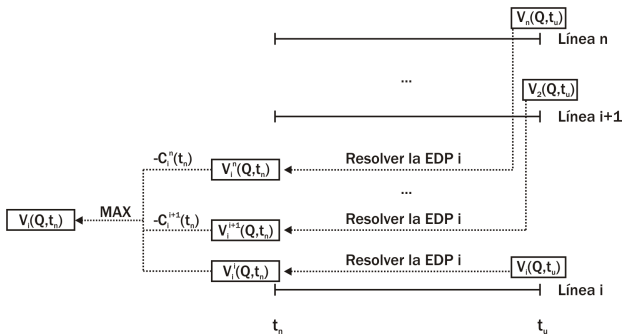
Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible cantidad de demanda.

Descripción

- 1 Varios tipos de línea \Rightarrow conjunto de ecuaciones
- 2 Horizonte de inversión: línea amortizada ($valor = 0$)
- 3 Resolver hacia atrás en el tiempo todas las ecuaciones
- 4 Para la toma de decisiones: comparar los valores de las diferentes líneas
 - Si la línea i tiene mayor valor que otra línea j de menor capacidad \Rightarrow mejorar j a i
- 5 Continuar resolviendo y decidiendo hasta llegar al tiempo 0 (fecha actual)

Algoritmo de toma de decisiones (y II)



Decisiones a tomar

Consideraciones adicionales

Incluye otros factores

- Costes de mantenimiento
- Costes de mejora
- Decaimiento de precios con el tiempo
- etc

Algoritmo de decisión: garantiza tomar decisiones óptimas.

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de línea presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar la línea al tipo Z si su utilización supera el X % de su ancho de banda máximo

Decisiones a tomar

Consideraciones adicionales

Incluye otros factores

- Costes de mantenimiento
- Costes de mejora
- Decaimiento de precios con el tiempo
- etc

Algoritmo de decisión: garantiza tomar decisiones óptimas.

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de línea presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar la línea al tipo Z si su utilización supera el X % de su ancho de banda máximo

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Valoración de *clusters* de telefonía móvil

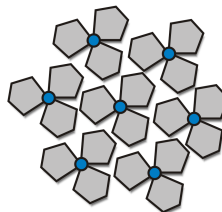
Clusters de telefonía móvil

- Compuestos de estaciones base
- Capacidad máxima de atender llamadas
- Superada la capacidad máxima \Rightarrow bloqueos en llamadas

Sectores



Estación base



Cluster

Bases del modelo

Ecuación del *cluster*

Muy similar a la de las líneas de fibra óptica, calcula $V=V(Q,t)$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

Pequeñas diferencias

- Parámetros inexistentes (p. ej. longitud de la línea)
- Expresiones diferentes para
 - Mantenimiento
 - Beneficio
 - Costes de mejora
- La resolución se realiza aplicando los mismos métodos

Bases del modelo

Ecuación del *cluster*

Muy similar a la de las líneas de fibra óptica, calcula $V=V(Q,t)$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (\mu - \sigma k)Q \frac{\partial V}{\partial Q} + \frac{1}{2}\sigma^2 Q^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} - rV + R = 0$$

Pequeñas diferencias

- Parámetros inexistentes (p. ej. longitud de la línea)
- Expresiones diferentes para
 - Mantenimiento
 - Beneficio
 - Costes de mejora
- La resolución se realiza aplicando los mismos métodos

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible demanda

- Al igual que el de fibra óptica

Diferencias

- Posibilidad de solaparse varias decisiones en el tiempo
- Posibilidad de realizar los pagos de actualizaciones de forma fraccionada

Algoritmo más complicado:

- Mayor ocupación de memoria
- Mayor coste computacional

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible demanda

- Al igual que el de fibra óptica

Diferencias

- Posibilidad de solaparse varias decisiones en el tiempo
- Posibilidad de realizar los pagos de actualizaciones de forma fraccionada

Algoritmo más complicado:

- Mayor ocupación de memoria
- Mayor coste computacional

Algoritmo de toma de decisiones (I)

Propósito

Calcular en cada momento la mejor inversión para cada posible demanda

- Al igual que el de fibra óptica

Diferencias

- Posibilidad de solaparse varias decisiones en el tiempo
- Posibilidad de realizar los pagos de actualizaciones de forma fraccionada

Algoritmo más complicado:

- Mayor ocupación de memoria
- Mayor coste computacional

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

- 1 Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- 2 En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- 3 Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- 4 Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- 5 Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

- 1 Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- 2 En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- 3 Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- 4 Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- 5 Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

- ➊ Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- ➋ En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- ➌ Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- ➍ Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- ➎ Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

- ➊ Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- ➋ En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- ➌ Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- ➍ Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- ➎ Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

- ➊ Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- ➋ En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- ➌ Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- ➍ Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- ➎ Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (II)

Descripción

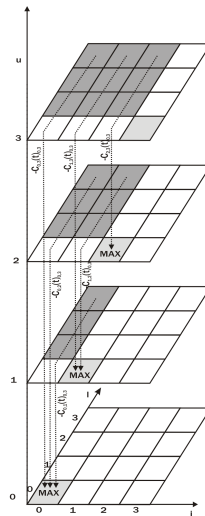
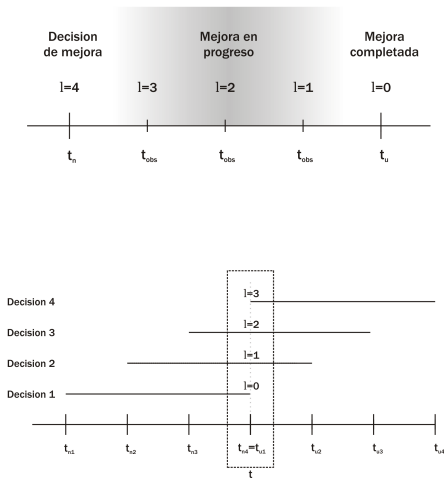
- ① Varios posibles clústers \Rightarrow conjunto de ecuaciones parabólicas
- ② En el horizonte de inversión: clústers amortizados
- ③ Resolver las ecuaciones hacia atrás en el tiempo
- ④ Fechas de pago de mejoras: pagar un plazo de las mejoras pendientes
- ⑤ Fechas de decisión: comparar las mejoras completas con los clústers sin mejorar
 - Seleccionar las opciones con mayor valor

Resultados del algoritmo

Para cada una de las fechas de decisión y cada uno de los tipos de clúster presentes, el algoritmo proporciona una decisión de la forma

Mejorar el clúster al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Algoritmo de toma de decisiones (y III)



Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico**
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡

Necesidad de los métodos numéricos

Ecuación parabólica involucrada

No se puede calcular de forma analítica una solución

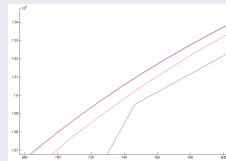
- Pero la solución es necesaria para poder valorar las inversiones

Solución

Calcular una aproximación de la solución en lugar de la solución exacta

Aplicación del método de elementos finitos a la ecuación

- Proporciona buenas aproximaciones si se utiliza la precisión necesaria
- Elevado coste computacional



Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Descripción del método

Ecuación involucrada

La ecuación es de dos variables (tiempo y capacidad)

- Aplicar método de elementos finitos para ecuaciones parabólicas

Alternativa

Aplicar el método de características y el de elementos finitos en una dimensión

- Descompone la ecuación evolutiva (de dos variables) en un conjunto de ecuaciones estacionarias (de una variable, la demanda)
 - Una ecuación para cada instante de tiempo
- Cada aproximación depende de la calculada en el paso anterior
- Comienza en el horizonte de inversión y termina en el instante actual

Apropiado para el tipo de ecuación parabólica particular

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación**
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras

Elección del lenguaje Java

¿Por qué Java?

Primeras fases del proyecto: implementación en Matlab

- Adecuado para la realización de prototipos
- Fácil manejo de matrices y resultados
- Ejecución lenta

Utilización de Java

- Desarrollo menos costoso
- Ejecución más rápida que Matlab
- Solución multiplataforma
- Permite implementar las partes críticas en FORTRAN en caso necesario

Elección del lenguaje Java

¿Por qué Java?

Primeras fases del proyecto: implementación en Matlab

- Adecuado para la realización de prototipos
- Fácil manejo de matrices y resultados
- Ejecución lenta

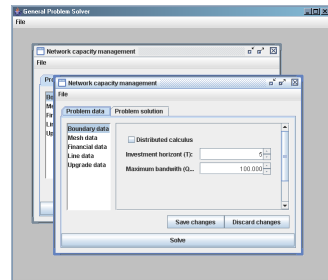
Utilización de Java

- Desarrollo menos costoso
- Ejecución más rápida que Matlab
- Solución multiplataforma
- Permite implementar las partes críticas en FORTRAN en caso necesario

Aplicación modular y gráfica

Interfaz gráfica de usuario

- Más intuitiva que la interfaz de línea de comandos
- Uso más fácil por usuarios no especializados en informática
 - Son los usuarios potenciales de la aplicación



Diseño modular

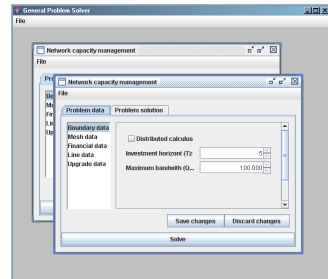
Permite añadir nuevas funcionalidades sin tener que modificar el código de la aplicación

- Mejoras futuras más sencillas
- Amplía el tiempo de vida de la aplicación

Aplicación modular y gráfica

Interfaz gráfica de usuario

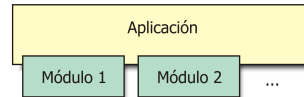
- Más intuitiva que la interfaz de línea de comandos
- Uso más fácil por usuarios no especializados en informática
 - Son los usuarios potenciales de la aplicación



Diseño modular

Permite añadir nuevas funcionalidades sin tener que modificar el código de la aplicación

- Mejoras futuras más sencillas
- Amplía el tiempo de vida de la aplicación



Cálculo distribuido mediante CORBA

Características de los problemas

Uso intensivo del método de elementos finitos

- Elevado coste computacional
- Tiempos de ejecución altos

Soluciones

- Adquirir mejor *hardware*
- Implementar en código nativo (C++ o FORTRAN)
- Realizar los cálculos de forma distribuida

Implementación del cálculo distribuido

- Paralelización de grano grueso (tareas de alto nivel)
- Uso de ordenadores de propósito general y/o redes heterogéneas
- CORBA: permite llamadas remotas a métodos Java

Cálculo distribuido mediante CORBA

Características de los problemas

Uso intensivo del método de elementos finitos

- Elevado coste computacional
- Tiempos de ejecución altos

Soluciones

- Adquirir mejor *hardware*
- Implementar en código nativo (C++ o FORTRAN)
- Realizar los cálculos de forma distribuida

Implementación del cálculo distribuido

- Paralelización de grano grueso (tareas de alto nivel)
- Uso de ordenadores de propósito general y/o redes heterogéneas
- CORBA: permite llamadas remotas a métodos Java

Cálculo distribuido mediante CORBA

Características de los problemas

Uso intensivo del método de elementos finitos

- Elevado coste computacional
- Tiempos de ejecución altos

Soluciones

- Adquirir mejor *hardware*
- Implementar en código nativo (C++ o FORTRAN)
- Realizar los cálculos de forma distribuida

Implementación del cálculo distribuido

- Paralelización de grano grueso (tareas de alto nivel)
- Uso de ordenadores de propósito general y/o redes heterogéneas
- CORBA: permite llamadas remotas a métodos Java

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados**
- 6 Posibles líneas futuras

Resultados obtenidos (I)

Decisiones a tomar

Se especifican en la forma

Mejorar la red al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Efectos observados en el valor X

- Para tiempos mayores \Rightarrow X mayor
 - Menor tiempo para amortizar la inversión
- Para mayor tiempo entre decisiones \Rightarrow X menor
 - No desperdiciar oportunidades
- Para costes de mejora mayores \Rightarrow X mayor
- Para costes de mantenimiento mayores \Rightarrow X mayor
- etc

Resultados obtenidos (I)

Decisiones a tomar

Se especifican en la forma

Mejorar la red al tipo Z si su utilización supera el X % de su capacidad máxima

Efectos observados en el valor X

- Para tiempos mayores \Rightarrow X mayor
 - Menor tiempo para amortizar la inversión
- Para mayor tiempo entre decisiones \Rightarrow X menor
 - No desperdiciar oportunidades
- Para costes de mejora mayores \Rightarrow X mayor
- Para costes de mantenimiento mayores \Rightarrow X mayor
- etc

Resultados obtenidos (y II)

Decisiones tomadas

El sistema propone valores entre el 80 % y el 120 % de la capacidad máxima

- Muy superiores a la regla del 50 % \Rightarrow redes empresariales sobredimensionadas

Decision for line: 1			
Time	To line 2	To line 3	To line 4
0.0	128,62 %	273,31 %	787,78 %
0.25	128,62 %	289,39 %	838,01 %
0.5	144,69 %	321,54 %	900,32 %
0.75	160,77 %	353,7 %	980,71 %
1.0	182,93 %	401,93 %	1077,17 %
1.25	225,08 %	450,16 %	1189,71 %
1.5	289,39 %	530,55 %	1318,33 %
1.75	385,85 %	627,01 %	1495,18 %
2.0	681,32 %	755,63 %	1688,1 %
2.25	-	1077,17 %	1945,34 %
2.5	-	1816,72 %	2282,96 %
2.75	-	-	2858,2 %
3.0	-	-	4437,3 %
3.25	-	-	9839,23 %
3.5	-	-	-
3.75	-	-	-
4.0	-	-	-
4.25	-	-	-
4.5	-	-	-

Resultados obtenidos (y II)

Decisiones tomadas

El sistema propone valores entre el 80 % y el 120 % de la capacidad máxima

- Muy superiores a la regla del 50 % \Rightarrow **redes empresariales sobredimensionadas**

Decision for line: 1			
Time	To line 2	To line 3	To line 4
0.0	128,62 %	273,31 %	787,78 %
0.25	128,62 %	289,39 %	838,01 %
0.5	144,69 %	321,54 %	900,32 %
0.75	160,77 %	353,7 %	980,71 %
1.0	182,93 %	401,93 %	1077,17 %
1.25	225,08 %	450,16 %	1189,71 %
1.5	289,39 %	530,55 %	1318,33 %
1.75	385,85 %	627,01 %	1495,18 %
2.0	681,32 %	755,63 %	1688,1 %
2.25	-	1077,17 %	1945,34 %
2.5	-	1816,72 %	2282,96 %
2.75	-	-	2958,2 %
3.0	-	-	4437,3 %
3.25	-	-	9839,23 %
3.5	-	-	-
3.75	-	-	-
4.0	-	-	-
4.25	-	-	-
4.5	-	-	-

Resultados del cálculo distribuido

Objetivos del sistema de cálculo distribuido

- Reducir el tiempo de ejecución de la aplicación
- Programación distribuida simple
 - Desarrollo más rápido
 - Mantenimiento más fácil

Hardware utilizado

Red Ethernet 10/100

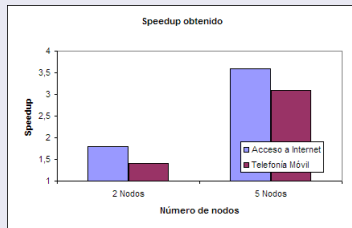
PCs Intel PentiumIII 600Mhz, 128Mb RAM, SO Windows2000

Pruebas en entorno real, no académico



Mejora en el tiempo de ejecución

Speedup conseguido

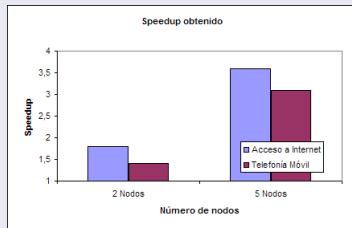


Objetivos alcanzados

- Fácil programación de los problemas de forma distribuida
- Buena mejora en los tiempos de ejecución
 - Problema de telefonía móvil: paralelización más compleja

Mejora en el tiempo de ejecución

Speedup conseguido



Objetivos alcanzados

- Fácil programación de los problemas de forma distribuida
- Buena mejora en los tiempos de ejecución
 - Problema de telefonía móvil: paralelización más compleja

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- **Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones**
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Objetivos alcanzados

Éxitos del proyecto

- Análisis de dos problemas reales de telecomunicaciones
- Descripción con modelos matemáticos complejos
- Desarrollo y uso de métodos numéricos
- Evaluación y aplicación de optimizaciones
- Soluciones basadas en criterios de decisión objetivos
- Desarrollo de una aplicación de utilidad en el sector

Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Modelo de redes de acceso a Internet
 - Modelo de redes de telefonía móvil
- 3 Método numérico
- 4 Desarrollo de la aplicación
- 5 Resultados
- 6 Posibles líneas futuras**

Posibles mejoras en los modelos

Extensión de los modelos

- Aplicación de los modelos empleados a nuevos tipos de redes
- Incorporación de nuevos modelos
 - Nuevos tipos de redes
 - Modelos de varios factores para las redes desarrolladas
- Desarrollo de nuevos métodos numéricos
 - Alternativas al método de elementos finitos con características

Posibles mejoras a nivel de aplicación

En la aplicación

- Diseño modular \Rightarrow extensión sencilla
 - Módulos que implementen los nuevos modelos
 - Módulo para la generación de informes
 - Módulo para la recolección automática de parámetros
- Mejorar la interfaz gráfica
 - Modificación de parámetros de forma visual

En el sistema de cálculo distribuido

- Paralelización de grano fino
- Reimplementación optimizada del sistema
 - Sin modificar las interfaces externas
- Carga dinámica de nuevas características

Para más información

Valoración de redes de telecomunicaciones



Y. d'Halluin, P.A. Forsyth and K.R. Vetzal, 2002, Managing Capacity For Telecommunications Networks Under Uncertainty. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 10:579-588



Y. d'Halluin, P.A. Forsyth and K.R. Vetzal, May 10th 2004, Wireless Network Capacity Management: A Real Options Approach

Valoración de opciones



Y. d'Halluin, P.A. Forsyth, K.R. Vetzal and G. Labahn, *A Numerical PDE Approach For Pricing Callable Bonds*. February 2nd, 2001



C. Vázquez: *An upwind numerical approach for an American and European options pricing problem*, Applied Mathematics and Computation, vol 97, 273-286, 1998