

Indici non tradizionali

Indici non tradizionali

- Nel seguito introdurremo tre particolari tipi di indici:
 - indici bitmap: permettono di valutare efficientemente condizioni multiple
 - indici per dati multidimensionali
 - indici per documenti digitali

Indici bitmap

- Come abbiamo visto, l'obiettivo di un indice è associare un valore chiave all'insieme delle tuple che contengono tale valore
- In un B-albero, ad esempio, si associa ogni valore chiave ad un puntatore al file dei dati
 - il puntatore è unico se il file è clusterizzato (puntatore alla prima tupla con un certo valore chiave)
 - se il file non è clusterizzato, si può associare il valore chiave ad una lista di puntatori
 - la lista implementa un insieme

Indici bitmap

- L'idea di un indice bitmap è quella di rappresentare l'insieme dei puntatori al file dei dati non come lista ma come bit vector
 - Bitmap
 - **Indice bitmap**: insieme di bitmap per diversi attributi

Indici bitmap

- In una bitmap:
 - Una riga per ogni valore dell'attributo
 - Una colonna per ogni tupla della relazione
 - In una bitmap per l'attributo A:
 - Se $\text{bitmap}(i,j) = 1$, allora la tupla j-esima ha i come valore per l'attributo A
 - Se $\text{bitmap}(i,j) = 0$, allora la tupla j-esima non ha i come valore per l'attributo A
- Esiste una funzione che converte la posizione della colonna in un puntatore alla tupla

Indici bitmap - esempio

1	112	Joe	M	3	Clienti
2	115	John	M	5	
3	119	Sue	F	5	
4	112	Mary	F	4	

Indici bitmap - esempio

Bitmap per sesso

	1	2	3	4
M	1	1	0	0
F	0	0	1	1

Bitmap per valutazione

	1	2	3	4
3	1	0	0	0
4	0	0	0	1
5	0	1	1	0

Indici bitmap

- Gli indici bitmap possono essere utilizzati per valutare:
 - Condizioni di uguaglianza o range su singolo attributo
 - Si usa una singola bitmap
 - Condizioni di uguaglianza o range su più attributi
 - Si usano più bitmap, utilizzando operazioni bit a bit

Indici bitmap - esempio

- Determinare i clienti maschi che hanno ottenuto una valutazione pari a 5

	1	2	3	4
M	1	1	0	0
5	0	1	1	0
	0	1	0	0

- Accedo solo le tuple che soddisfano TUTTE le condizioni

Indici bitmap – confronto con B-alberi

- Vantaggi:
 - Per attributi con bassa cardinalità, lo spazio richiesto è ridotto e le bitmap possono essere mantenute in memoria centrale
 - nessun costo aggiuntivo per accedere l'indice
 - Supportano condizioni che coinvolgono più attributi in modo molto efficiente
 - Facili da costruire e da mantenere
- Svantaggi:
 - Alta occupazione di spazio se costruiti su attributi con alta cardinalità
 - Utilizzo di tecniche compressione (non le vediamo)
 - Non adatte in situazioni molto dinamiche (molte operazioni di aggiornamento)

Indici bitmap – confronto con B-alberi

- I vantaggi nell'utilizzare una bitmap sono maggiori quando l'attributo assume un limitato insieme di valori rispetto al numero di tuple nella tabella
- In generale, se ogni valore viene ripetuto più di 100 volte, allora per l'attributo può essere ragionevolmente creato un indice bitmap
- Per attributi con valori ripetuti un numero inferiore di volte può essere conveniente creare un indice bitmap se compaiono spesso in condizioni complesse nella clausola WHERE di interrogazioni SQL
- Al contrario, i B-alberi sono più convenienti per attributi che assumono molti valori diversi

Indici bitmap in SQL

- La creazione di un indice bitmap in SQL ha la seguente forma:

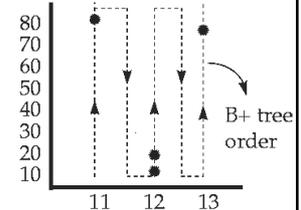
```
CREATE BITMAP INDEX NomeIndice ON  
NomeRelazione(NomeAttributo);
```

Indici per dati multidimensionali

- Come abbiamo visto, i B-alberi permettono di indicizzare informazioni mono-dimensionale
 - ogni valore per la chiave può essere visto come un punto in uno spazio mono-dimensionale
- Quando creiamo ad esempio un B+-albero su più attributi, ad esempio due, $\langle \text{età}, \text{stipendio} \rangle$, lo spazio 2-dimensionale viene linearizzato
 - prima si ordina rispetto ad età e poi rispetto a stipendio

Esempio

$\langle 11, 80 \rangle, \langle 12, 10 \rangle$
 $\langle 12, 20 \rangle, \langle 13, 75 \rangle$

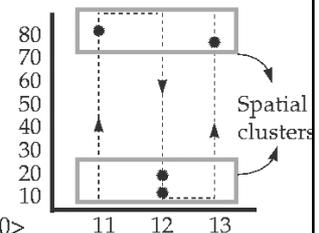


Indici per dati multidimensionali

- Un indice multidimensionale raggruppa le varie entrate in relazione alla loro vicinanza nello spazio multidimensionale
 - utilizzo di cluster rappresentati da rettangoli o, in generale in uno spazio n-dimensionale, iperrettangoli

Esempio

$\langle 11, 80 \rangle, \langle 12, 10 \rangle$
 $\langle 12, 20 \rangle, \langle 13, 75 \rangle$



Indici per dati multidimensionali

- I cluster devono essere costruiti sulla base della posizione dei dati nello spazio
- Quali dati si possono indicizzare?
 - Punti n-dimensionali
 - oggetti spaziali in genere (linee, poligono, n-dimensionali)

Indici per dati multidimensionali

- Utili per le seguenti applicazioni:
 - query spaziali
 - trova tutti gli hotel in un raggio di 5 km dalla sede della conferenza
 - trova tutte le città bagnate dal Nilo in Egitto
 - trova il comune più vicino a Genova con più di un certo numero di abitanti
 - query per similitudine (content-based retrieval)
 - data una fotografia di un volto, trovare tutti i volti simili
 - query di tipo range, multidimensionali
 - $50 < \text{età} < 55$ AND $80k < \text{sal} < 90k$

Indici per dati multidimensionali

- Si vogliono gestire i cluster utilizzando una struttura bilanciata
- R-alberi: struttura definita per supportare queste esigenze

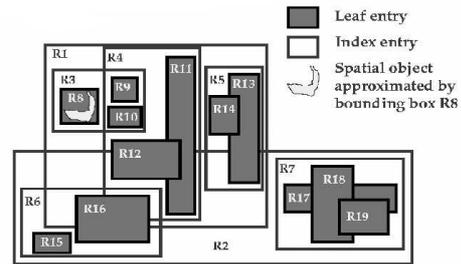
R-alberi

- Indice basato su una struttura ad albero bilanciato
- ogni chiave corrisponde ad un iper-rettangolo, composto da una collezione di intervalli, uno per ogni dimensione
- il sottoalbero associato ad un certo valore chiave E contiene iper-rettangoli contenuti in E
- nello spazio 2-dimensionale, ogni valore chiave rappresenta un rettangolo
 - $a \leq X \leq b$ AND $c \leq Y \leq d$

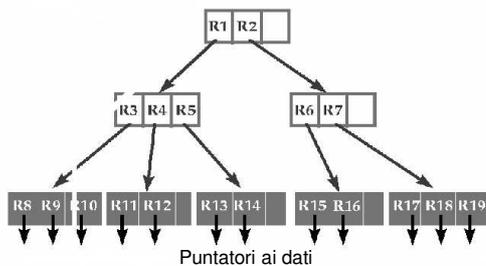
Proprietà degli R-alberi in spazio n-dimensionale

- **Nodi foglia:** contengono elementi del tipo: $\langle i_1, \dots, i_n, r \rangle$ dove i_j è un intervallo sulla dimensione i-esima r puntatore ai dati
- **nodi interni:** contengono elementi del tipo: $\langle i_1, \dots, i_n, p \rangle$ dove i_j è un intervallo sulla dimensione i-esima r puntatore al nodo figlio
- anche per gli R-tree si garantisce il riempimento dei nodi al 50% (esclusa la radice)

Esempio



Esempio (continua)



R-alberi: ricerca

INPUT: Q = iper-rettangolo da cercare
 root = il puntatore alla radice dell'albero
OUTPUT: S = un insieme di iper-rettangoli, inizialmente $S = \emptyset$

procedure ricerca(Q : IN, root: I, N, S: I, N-OUT): boolean

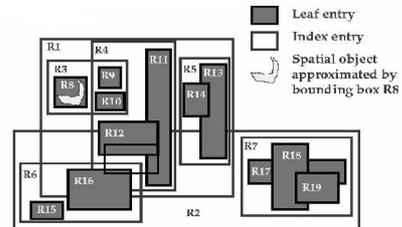
```

P(p) = il nodo puntato da p
E1, ..., Ej = iper-rettangoli contenuti in P(p)
p0, ..., pj = i puntatori ai figli in P(p)
if (P(p) non è una foglia) then
  for each i:=1,...,j
    if Ei ∩ Q ≠ ∅ then ricerca(Q, pi, S) endif
  endifor
else
  for each i:=1,...,j
    if Ei ∩ Q ≠ ∅ then S := S ∪ Ei endif
  endifor
endifor
    
```

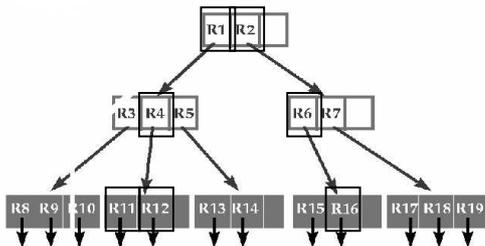
R-alberi ricerca: osservazione

- La ricerca può comportare la scansione di più cammini nell'albero
- questo comportamento è dovuto al fatto che gli iper-rettangoli associati ai nodi interni non sono necessariamente disgiunti

R-alberi ricerca: osservazione



R-alberi ricerca: osservazione



R-alberi - inserimenti e cancellazioni

- Inserimento:
 - si inserisce nell'iper-rettangolo che richiede la minore estensione spaziale per coprire il nuovo oggetto
 - se si supera il limite massimo di entrate
 - splitting: si cerca di minimizzare l'area dei due nuovi iper-rettangoli creati
- cancellazione:
 - anche in questo caso problemi di concatenazione e bilanciamento

R-alberi - estensioni

- Si sostituiscono gli iper-rettangoli con poligoni convessi
- Varianti:
 - R+-alberi: gli iper-rettangoli associati ai nodi interni sono disgiunti
 - ogni ricerca richiede la scansione di un unico cammino ma lo stesso oggetto può essere memorizzato in più foglie

R-alberi in Oracle

- Oracle mette a disposizione tipi particolari per la memorizzazione di dati spaziali
- tali dati possono essere indicizzati utilizzando R-alberi

Indici per documenti digitali

- Necessità di supportare l'accesso a collezioni di documenti digitali
- Applicazioni:
 - Web
 - digital libraries
 - information filtering
- Problemi:
 - le interrogazioni non sono precise ma imprecise e informali
 - es: trovare i documenti che parlano di energia nucleare
 - non siamo interessati a stabilire quali documenti soddisfano la query ma quali documenti sono **rilevanti** per la query

Indici per documenti digitali

- Il settore dell'**Information Retrieval (IR)** propone tecniche per rappresentare i documenti e ritrovarli, a fronte di una certa query
- tecniche di base:
 - i documenti sono completamente non-strutturati
 - ci concentreremo su queste
- tecniche avanzate:
 - assumono che il documento sia associato ad una certa struttura (es. Documenti XML) e permettono ricerche che si basano anche sulla struttura
- **Multimedia IR:**
 - estensione tecniche IR alla gestione di documenti multimediali

Indici per documenti digitali - interrogazioni

- **Query booleane:**
 - ogni query è una combinazione booleana di parole
 - 'uranium' AND (('nuclear' AND 'energy') OR ('atomic' AND 'bomb'))
 - estensioni di vario tipo:
 - 'bomb*': parole che iniziano con la stringa 'bomb'
 - bomb, bombs, bombing,...
 - prossimità: 'nuclear' ADJACENT 'energy'
 - la vicinanza può essere quantificata precisando un certo numero di parole ammesse tra le due cercate
 - spesso non è facile convertire una richiesta in una query booleana

Indici per documenti digitali - interrogazioni

- **Query ranked:**
 - la query è un'espressione in linguaggio naturale o una sequenza di parole
 - 'Use of nuclear or atomic energy as a power source'
 - si confronta la query con i documenti e si restituiscono quelli con una certa similarità, in genere i primi N, dove N è specificato dall'utente
 - si utilizzano funzioni ad hoc per il calcolo della similarità (es. Cosine measure)
 - la similarità generalmente dipende da:
 - quanti termini della query compaiono nel documento
 - quanto tali termini sono frequenti nel documento
 - discriminazione tra parole più importanti e meno importanti

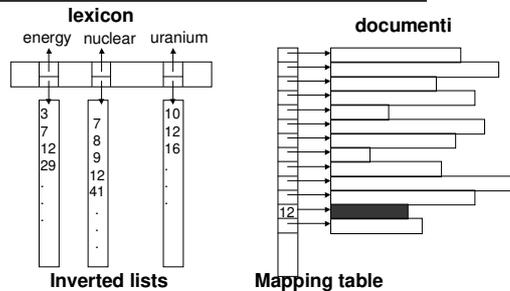
Indici per documenti digitali - esigenze

- Query booleane e ranked:
 - parole presenti nel DB e, per ogni parola, i documenti che la contengono
- query di vicinanza:
 - per ogni parola, l'insieme dei documenti che la contengono e la loro posizione all'interno del documento
 - posizione ordinale (più frequente) o numero di byte dall'inizio del documento
- query ranked:
 - frequenza di ogni parola all'interno del documento

Indici per documenti digitali - inverted index

- Definiti negli anni 70 e attualmente ancora usati
- tre tipi di componenti:
 - **lexicon:** array di parole contenute nella base di dati
 - per ogni parola: **inverted list**, contenente (in relazione al tipo di query che si vuole supportare)
 - identificatore documento
 - frequenza parola nel documento
 - posizioni occorrenze parola nel documento
 - **mapping table:** permette di passare da un riferimento al documento al documento stesso

Indici per documenti digitali - inverted index



Indici per documenti digitali - inverted index: strutture dati

- **Lexicon:**
 - B+-tree per il lexicon, con puntatori alle inverted list nelle foglie
 - garantisce la memorizzazione ordinata delle parole
- **inverted list:**
 - clusterizzate
 - uso di tecniche di compressione
- **inserimenti e cancellazioni di documenti:**
 - costosi: ciascuna operazione richiede di modificare molte entrate del lexicon e molte inverted list
 - approccio batch: vengono gestiti più inserimenti e cancellazioni al lexicon contemporaneamente

Indici per documenti digitali - Signature files

- Idea simile a quella delle bitmap
- ad ogni parola viene associato, tramite una funzione hash chiamata **signature**, un codice binario composto da F bit, di cui esattamente m posti a 1
- ogni documento viene quindi rappresentato da una sequenza di F bit, ponendo a 1 tutti i bit corrispondenti alle parole contenute nel documento

Indici per documenti digitali - Signature files: esempio

Word	Signature
data	001 000 110 010
base	000 010 101 001
doc. signature	001 010 111 011

m (=4 bits/word)

F (=12 bits signature size)

Indici per documenti digitali - Signature files: ricerca

- Per stabilire se un documento contiene una parola, si recupera il codice corrispondente alla parola e si guarda se i bit corrispondenti sono posti a 1 nel codice corrispondente al documento
 - se no: la parola non è contenuta nel documento
 - se si: la parola **potrebbe** essere contenuta nel documento ma non è certo
- **Approccio:**
 - si recuperano tutti i documenti che potrebbero contenere la parola
 - si eliminano i **false drops** scandendo sequenzialmente i documenti recuperati

Signatur Indici per documenti digitali - Signature files: esempio

Word	Signature
data	001 000 110 010
base	000 010 101 001
doc. signature	001 010 111 011

data
actual match

Indici per documenti digitali - Signature files: esempio

Word	Signature
data	001 000 110 010
base	000 010 101 001
doc. signature	001 010 111 011

retrieval ↑ ↑ ↑ ↑

actual dismissal

Indici per documenti digitali - Signature files: esempio

Word	Signature
data	001 000 110 010
base	000 010 101 001
doc. signature	001 010 111 011

nucleotic ↑ ↑ ↑ ↑

false alarm ('false drop')

Indici per documenti digitali - Signature files: ricerca

- L'approccio precedente funziona con tutte le query booleane
- idea di base:
 - si costruisce la signature corrispondente alla query
 - si confronta tale signature con quella associata al documento
- esistono ottimizzazioni per evitare la scansione completa signature
 - suddivisione signature files in porzioni, contenenti un numero b di bit
 - scansione delle porzioni che contengono i bit necessari a risolvere la query

Indici per documenti digitali - Signature files: confronto con inverted files

- Signature file molto più compatti
- supporto per query booleane arbitrarie
- inserimento più rapido (viene inserito solo un record)
- problemi nel supportare query avanzate di tipo ranked
- non facilmente esistibili al supporto di documenti semi-strutturati

Indici testuali in Oracle

- La gestione di documenti testuali è supportata da un tool Oracle
 - Oracle Intermedia Text
- supporta l'indicizzazione e il ritrovamento di informazione testuale, anche strutturata