บทที่ 3

โครงสร้างข้อมูล โคดเวิร์ด และแนวทางใหม่ของการพัฒนาการเรียงลำดับ

3.1 แนวความคิดของ โคดเวิร์ด

ในการเรียงลำดับข้อมูลที่มีคีย์เป็นชุดของตัวอักษรยาวๆ เวลาในการประมวลผลจะสูญเสียไปมากกับการทำงานเคลื่อนย้ายข้อมูลนั้น เพื่อลดความสิ้นเปลืองนี้ วิธีการที่จะแก้ปัญหาการเคลื่อนย้ายข้อมูลโดยการใช้ตัวแปรตัวชี้ข้อมูล (Pointer) ซึ่งเก็บตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลจริงเมื่อเปรียบเทียบข้อมูล และต้องเคลื่อนย้ายสลับตำแหน่งข้อมูล ให้ทำการสลับตำแหน่งของตัวชี้ข้อมูลแทน ดังนั้นผลของการเรียงลำดับแล้ว จะได้ชุดลำดับของตัวชี้ข้อมูลที่ถูกเรียงลำดับตามค่าคีย์ข้อมูลจริงๆ แทน แต่จะพบว่าในการเปรียบเทียบข้อมูลจะต้องเข้าถึง (Access) คีย์ข้อมูลจริงๆ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบในลักษณะไบต์ต่อไบต์ โดยเริ่มจากไบต์แรกสุดของข้อมูลทุกครั้ง และทำการเปรียบเทียบเรื่อยไป จนพบว่าค่าข้อมูลมีค่าไม่เท่ากัน สิ่งที่สังเกตได้คือ ต้องเข้าถึงข้อมูลจริงๆ ทุกครั้ง เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ และจะเริ่มที่ไบต์แรกสุดของคีย์ข้อมูลเสมอถึงแม้ว่าข้อมูลจะมีตัวอักษรส่วนแรกที่เหมือนกัน ข้อมูลส่วนที่เท่ากันนั้นก็จะถูกเปรียบเทียบกันซ้ำๆ อีกทุกครั้งที่มีการนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน หรือสำหรับข้อมูลที่มีความแตกต่างกันที่ตัวอักษรส่วนแรกๆ นั้นการเปรียบเทียบแต่ละครั้งจะต้องเข้าถึงข้อมูลทุกครั้ง จากค่าตัวชี้ข้อมูลซึ่งแสดงตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลนั้น สามารถเพิ่มคุณสมบัติของคีย์ข้อมูลลงไปเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบข้อมูลได้ทันที ทำให้ไม่ต้องเข้าถึงคีย์ข้อมูลทุกครั้งไป

การเปลี่ยนค่าของคีย์ข้อมูลใหม่ ให้เป็นค่าข้อมูลอย่างหนึ่ง ซึ่งค่าข้อมูลใหม่นี้จะใช้เป็นตัวแทนของคีย์ข้อมูลในการเปรียบเทียบข้อมูล โดยค่าข้อมูลใหม่นี้ ต้องมีคุณสมบัติที่รักษาลำดับของคีย์ข้อมูลเดิมได้ ผลการเปรียบเทียบของค่าข้อมูลใหม่ เหมือนการเปรียบเทียบของค่าคีย์ข้อมูลจริง

ในการเปรียบเทียบค่าข้อมูล 2 ค่า ว่าจะมีค่าข้อมูลมากกว่าหรือน้อยกว่า โดยทั่ว ๆ ไป คือ พิจารณาดูจากค่าของตำแหน่งที่ข้อมูลเริ่มแตกต่างกัน และเปรียบเทียบค่าข้อมูลตัวอักษรที่ตำแหน่งนั้น เช่น ข้อมูล abce และ abde

a b c e

a b d e

จะแตกต่างกันที่ตัวอักษรตัวที่ 3 มีค่าเป็น c และ d ตามลำดับ ซึ่งค่า d มากกว่า

ค่า c ได้ว่า abde มีค่ามากกว่า abce

จากข้อมูลที่ต้องการนำมาเรียงลำดับข้อมูลสำหรับทุกค่าข้อมูล นำค่าคีย์มาสร้างใหม่โดยการนำคีย์ข้อมูลมาเปรียบเทียบกับค่าคีย์ข้อมูลค่าหนึ่งซึ่งเลือกมาจากค่าคีย์ใด ๆ ในชุดข้อมูล หรือเรากำหนดค่าคีย์ที่ใหญ่ที่สุดหรือเล็กที่สุดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง นำค่าคีย์ที่เลือกมาหรือกำหนดขึ้นเองมาเปรียบเทียบกับค่าคีย์ข้อมูลทั้งหมด ว่ามีความแตกต่างกันที่ตำแหน่งใดและค่าตัวอักษรของคีย์ข้อมูลที่แตกต่างจากคีย์ที่กำหนดเป็นค่าใด

เช่น ข้อมูล aab , bbb และ bcc

สมมติให้ bcd เป็นข้อมูลอ้างอิงที่ใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลอื่น เพื่อสร้างค่าข้อมูลใหม่ให้แก่ ค่าข้อมูล aab, bbb และ bcc

โดยการเปรียบเทียบข้อมูล aab และ bcd (เป็นตัวอ้างอิง) หาความแตกต่างของข้อมูล คือที่ตัวแรกสุด คือตัวอักษร a

ดังนั้น ค่าข้อมูลใหม่ของ aab = (1,a)

และเปรียบเทียบข้อมูล bbb และ bcd (เป็นตัวอ้างอิง) ข้อมูลมีความแตกต่างที่ตัวที่ 2 คือตัวอักษร b

ดังนั้น ค่าข้อมูลใหม่ของ bbb = (2,b)

ในทำนองเดียวกัน

ค่าข้อมูลใหม่ของ bcc = (3,c)

ค่าข้อมูลใหม่จะนำมาใช้แทนคีย์ข้อมูลเดิมแต่ละตัว ค่าข้อมูลใหม่ต่างเป็นค่าที่สัมพันธ์กับข้อมูลเดียวกัน (ในที่นี้คือ bcd) ซึ่งกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับหาค่าใหม่ของคีย์ ค่าใหม่นี้จะมีความกระทัดรัดกว่าการใช้คีย์ข้อมูลเดิม ค่าข้อมูลใหม่นี้เรียกว่า โคดเวิร์ด

ค่าโคดเวิร์ด ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นตัวเลขแสดงตำแหน่งที่ตัวอักษรไม่เท่ากันของค่าคีย์ข้อมูลกับค่าข้อมูลอ้างอิง ส่วนที่สองเป็นค่าตัวอักษรของคีย์ข้อมูลที่ไม่เท่ากันนั้น ค่าโคดเวิร์ด เป็นค่าแสดงความแตกต่างของคีย์ข้อมูลกับค่าคีย์ข้อมูลที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง หรือตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ดนั่นเอง

3.2 <u>คำนิยามของโคดเวิร์ดหรือโคดเวิร์ดค่าบวก (Positive Codeword) ของคีย์ข้อมูล</u>

<u>โคดเวิร์ด</u> เป็นการแทนค่าของคีย์ข้อมูลที่เป็นชุดตัวอักษร ในรูปแบบที่ค่าโคดเวิร์ดที่

กำหนดสำหรับ คีย์หนึ่ง ๆ สามารถรักษาลำดับข้อมูลได้เหมือนลำดับของคีย์

โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลที่จะใช้ในการเปรียบเทียบค่าคีย์ 2 ตัว คือ

1. ตำแหน่งแรกของไบต์ข้อมูลที่ไม่เท่ากัน
2. ค่าของไบต์ที่ไม่เท่ากันนั้น

เช่น ให้ K1 และ K2 เป็น คีย์ของข้อมูล

K1 มีค่าเท่ากับ aaabb

K2 " aaaab

โดยการเปรียบเทียบ ไบต์ที่ไม่เท่ากันไบต์แรกสุดของ K1 คือ b

" " K2 คือ a

สรุปได้ว่า K1 > K2

คำนิยาม 1: ความหมายของค่าโคดเวิร์ด

กำหนดให้ K และ V เป็น คีย์ของข้อมูล

$C_v(K)$ อ่านว่า โคดเวิร์ดของ K สัมพันธ์กับ V

คีย์ V เป็นตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด (Codeword Generator)

$$C_v(K) = (j, K[j])$$

ซึ่ง $K[j] \neq V[j]$

$K[i] = V[i]$, $0 < i < j$

เพราะฉะนั้นในตัวอย่างข้างต้น จะได้ $C_{K_1}(K2) = (4,a)$

คำนิยาม 2: การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด

กำหนดให้ P, Q, และ V เป็นคีย์ของข้อมูล

ถ้า $C_v(P) = (i,x)$

และ $C_v(Q) = (j,y)$

$C_v(P) > C_v(Q)$ ต่อเมื่อ

1) $i > j$

หรือ 2) $i = j$ และ $x > y$

คำนิยาม 3: การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด

กำหนดให้ P , Q และ V เป็นคีย์ของข้อมูล

ถ้า $C_v(P) = (i,x)$

และ $C_v(Q) = (j,y)$

$C_v(P) = C_v(Q)$ ต่อเมื่อ

1) $i = j = [p] + 1$

หรือ 2) $i = j$ และ $x = y$

โดย [p] คือ ความยาวของคีย์ P

คำนิยาม 4: คุณสมบัติการรักษาลำดับ

ถ้า $C_v(P) > C_v(Q)$

แล้ว $P > Q$

ลำดับของโคดเวิร์ด จะถูกรักษาไว้ตามลำดับของคีย์ข้อมูลเมื่อคีย์ข้อมูล V มีค่ามากกว่า ทั้งค่า P และ Q คุณสมบัติการรักษาลำดับจะไม่มีถ้าคีย์ข้อมูล V มีค่าน้อยกว่าค่า P หรือ Q ค่าใดค่าหนึ่ง

เมื่อตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ดมีค่าน้อยกว่าค่าของคีย์ทั้งหมด โคดเวิร์ดที่ได้สร้างจากตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด คือ โคดเวิร์ดค่าลบ (Negative codeword)

จาก K1 = aaabb

K2 = aaaab

$C_{K2}(K1) = (-4,a)$

$C_v(P) =$ Positive $C_v(P)$ ถ้า $P < V$

$C_v(P) =$ Negative $C_v(P)$ ถ้า $P > V$

ถ้า V น้อยกว่าทั้ง P และ Q แล้ว

$C_v(P)$ และ $C_v(Q)$ ยังคงรักษาลำดับตามลำดับของค่าคีย์

3.3 การนำโคดเวิร์ดมาประยุกต์ใช้งานในอัลกอริทึมควิกซอร์ต

ข้อมูลเข้า : ชุดลำดับของโคดเวิร์ด S สร้างจาก ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด V โดยที่ V เป็นคีย์ใด ๆ ซึ่งใหญ่กว่า (เล็กกว่า) หรือเท่ากันกับคีย์ใด ๆ ของข้อมูลก็ได้

ให้ M เป็นคีย์ของตัวเลือกกำหนดการแบ่งส่วน (m) ซึ่งได้ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 1

ข้อมูลออก : ได้ชุดลำดับย่อยของโคดเวิร์ด 4 ชุด ให้ชื่อว่า S1, S2, S3 และ S4

ซึ่งคีย์ V เป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด สำหรับ S1 และ S4

และ M เป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด สำหรับ S2 และ S3

ขั้นตอนการทำงาน

1) เลือกตัวกำหนดการแบ่งส่วน m จากค่าโคดเวิร์ดตัวใด ๆ ก็ได้

2) เมื่อ ชุดลำดับของโคดเวิร์ด ยังไม่หมดทำขั้นตอนที่ 3 , 4 และ 5

3) เลือกค่าโคดเวิร์ด e จากชุดลำดับของโคดเวิร์ด

4) เปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด e กับ ค่าโคดเวิร์ด m

โดยที่ e จะอยู่ในชุดลำดับ (ตามนิยามการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด)

S1 : ถ้า $e < m$

S2 : ถ้า $e = m$ และ key (e) < key (m)

S3 : ถ้า $e = m$ และ key (e) > key (m)

S4 : ถ้า $e > m$

5) ถ้า e เป็นสมาชิกใน S2 และ S3 แล้ว

ให้หาค่าโคดเวิร์ด ค่าใหม่ของคีย์นั้นโดยใช้คีย์ของ m เป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด

6) จบการทำงาน

3.4 การปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลโคดเวิร์ด

จากแนวความคิดของโคดเวิร์ดนั้น การสร้างค่าโคดเวิร์ดได้ต้องมีการกำหนด ค่าที่ใช้เป็นตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด ขึ้นมาก่อนซึ่งเลือกจากคีย์ใดๆ ในชุดลำดับของข้อมูลหรือกำหนดขึ้นมาเองก็ได้ ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ดใช้เป็นค่าอ้างอิงในการใช้เปรียบเทียบกับคีย์ข้อมูลต่างๆ เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล ค่าโคดเวิร์ดก็คือค่าความแตกต่างที่ได้มีข้อมูล 2 ส่วนคือค่าตัวเลขแสดงตำแหน่งที่ข้อมูลแตกต่างกัน และ ค่าข้อมูลของตัวอักษรที่แตกต่างนั้น ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนสามารถอัดแน่นเป็นค่าตัวเลขค่าเดียวกัน ซึ่งไบต์แรกเป็นค่าของตำแหน่งที่ข้อมูลแตกต่างกัน โดยค่าบวกแสดงว่าเป็น โคดเวิร์ดค่าบวก ค่าลบแสดงว่าเป็น โคดเวิร์ดค่าลบ ในไบต์ที่สองเป็นค่าของตัวอักษรที่แตกต่างกัน ค่าตัวเลขค่าเดียวนี้ค่าของไบต์แรกจะมีค่านัยสำคัญมากกว่าค่าของไบต์ที่สอง ทำให้

การเปรียบเทียบค่าของตัวเลขที่อัดข้อมูลไว้ด้วยกันมีคุณสมบัติในการเปรียบเทียบตามคำนิยามการเปรียบเทียบของค่าโคดเวิร์ด

3.5 การนำโคดเวิร์ดมาใช้ในการทำงานแบ่งส่วนข้อมูล (Partition Routine)

3.5.1 ขั้นตอนการทำงาน

1. สร้างค่าโคดเวิร์ดให้กับชุดลำดับของคีย์ข้อมูลทั้งหมด

ตัวอย่าง ให้ ชุดลำดับของค่าคีย์ข้อมูล

และตัวกำหนดการสร้างค่าโคดเวิร์ด เป็นค่าคีย์ข้อมูลที่มีค่าใหญ่ที่สุด

จาก นิยามความหมายของค่าโคดเวิร์ด

ค่าโคดเวิร์ดของคีย์ข้อมูล K สัมพันธ์กับคีย์ข้อมูล V (V เป็นตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด)

$$C_v(K) = (j, K[j])$$

ซึ่ง $K[j] \neq V[j]$

$K[i] = V[i]$, $0 < i < j$

การสร้างค่าโคดเวิร์ดโดยการกำหนดให้ค่าของตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ดเป็นค่าคีย์ข้อมูลที่ใหญ่ที่สุดเป็นค่าคีย์ที่สมมติขึ้นไม่ได้มีอยู่จริง เมื่อตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ดเป็นค่าที่ใหญ่ที่สุดดังนั้นการเปรียบเทียบข้อมูลที่แตกต่างจึงได้เป็นตำแหน่งแรกสุดของคีย์ข้อมูล

017683

เช่น

	ค่าคีย์ข้อมูล			ค่าโคดเวิร์ด
1	KANOKPORN		1	1, K
2	KANUENGNID	นำมาสร้าง	2	1, K
3	PORNPAN	เป็น	3	1, P
4	BOONTIWA	ค่าโคดเวิร์ด	4	1, B
5	NOPARAT	แทน	5	1, N
6	ACHARA		6	1, A
7	WILAI		7	1, W
8	PATCHARA		8	1, P
9	KITIYA		9	1, K
10	DARANEE		10	1, D
11	KANDA		11	1, K

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแสดงการสร้างค่าโคดเวิร์ดจากค่าคีย์ข้อมูล

2. <u>การทำงานแบ่งส่วนข้อมูลโดยใช้ค่าโคดเวิร์ดในการเปรียบเทียบข้อมูลแทนการใช้ค่าคีย์ของข้อมูล</u>

ในการทำงานแบ่งส่วนข้อมูล เลือกข้อมูลหนึ่งค่าจากข้อมูลทั้งหมดเป็นตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล คือค่าโคดเวิร์ด m ซึ่งทำให้ข้อมูลทั้งหมดแบ่งเป็น กลุ่มข้อมูลที่มีค่าข้อมูลน้อยกว่าค่าคีย์ของตัวกำหนดการแบ่งส่วน และ กลุ่มข้อมูลที่มีค่าคีย์มากกว่าคีย์ของตัวกำหนดการแบ่งส่วน

สมมติ เลือกค่าโคดเวิร์ด m คือ (1,K) ของคีย์ข้อมูล M (KANOKPORN) เป็นตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล

การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด m (ตัวกำหนดเป็นตัวแบ่งข้อมูล) กับค่าโคดเวิร์ด e อื่น ๆ ในชุดลำดับ ตามนิยามการเปรียบเทียบ ค่าโคดเวิร์ด ทำให้ e อยู่ในชุดลำดับ

S1 : ถ้า e < m

S2 : ถ้า e = m และ Key (e) < Key (m)

S3 : ถ้า e = m และ Key (e) > Key (m)

S4 : ถ้า e > m

และเมื่อ e เป็นสมาชิกของ S2 และ S3 แล้ว ให้หาค่าโคดเวิร์ดใหม่ของคีย์ข้อมูลนั้น โดยใช้คีย์ของค่าโคดเวิร์ด m เป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด

การแบ่งข้อมูลในรอบที่ 1 จากการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดทั้งหมดแล้วทำให้เกิดชุดลำดับย่อยดังนี้

ชุดลำดับย่อย S1

4	BOONTIWA (1, B)
6	ACHARA (1, A)
11	DARANEE (1, D)

ชุดลำดับย่อย S2

11	KANDA (4, D)

M

1	KANOKPORN (1, K)

ชุดลำดับย่อย S3

2	KANUENGNID (-4, U)
9	KITIYA (-2, I)

ชุดลำดับย่อย S4

3	PORNPAN (1, P)
5	NOPARAT (1, N)
7	WILAI (1, W)
8	PATCHARA (1, P)

ชุดลำดับของโคดเวิร์ดที่แบ่งข้อมูลแล้ว

ชุดลำดับบน ประกอบด้วย S1 และ S2
KANOKPORN (1, K)
ชุดลำดับล่าง ประกอบด้วย S3 และ S4

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแสดงข้อมูลที่ได้จากการแบ่งส่วนข้อมูล

3.5.2 พิจารณาเปรียบเทียบการใช้ค่าโคดเวิร์ดแทนการใช้ค่าคีย์ข้อมูลจริง

1. ในการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดเพียงครั้งเดียว สามารถวางตำแหน่งของข้อมูลได้ทันที นั่นคือ สมาชิกในกลุ่ม S1 และสมาชิกในกลุ่ม S4

2. เมื่อการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดแล้วให้ผลเท่ากัน ต้องทำการเข้าถึงค่าคีย์ข้อมูลใหม่ เพื่อเปรียบเทียบค่าคีย์ข้อมูลในลำดับตัวอักษรถัดไปของคีย์ข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งที่แตกต่างถัดไปใหม่ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้คือค่าโคดเวิร์ดที่ใช้งานในครั้งต่อไป

ตัวอย่าง จากการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ด e ต่าง ๆ ในชุดลำดับกับตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูลคือค่าโคดเวิร์ด m แล้วถ้า ค่าโคดเวิร์ด e มีค่าเท่ากับค่าโคดเวิร์ด m ค่าโคดเวิร์ด e จะไม่มีคุณสมบัติในการเปรียบเทียบต่อไปได้ ต้องหาค่าโคดเวิร์ด ของคีย์ข้อมูลนั้นใหม่

จาก ค่าโคดเวิร์ด m คือ คีย์ที่ 1 KANOKPORN (1, K)

ค่าโคดเวิร์ด e คือ คีย์ที่ 11 KANDA (1, K)

การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดได้

ค่าโคดเวิร์ด e (1,K) = ค่าโคดเวิร์ด m (1,K)

ทำการเปรียบเทียบค่าคีย์ของตัวอักษรลำดับต่อไปจากค่าของไบต์แรกที่แตกต่างกันต่อไปจนพบความแตกต่างของข้อมูลคือ

1 K A N O K P O R N

. . .

11 K A N D A

|

ตำแหน่งที่ข้อมูลแตกต่างกันอีก

ในที่นี้ ค่าคีย์ KANOKPORN ซึ่งเป็นตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล เป็นคีย์ที่ใช้ในการหาค่าโคดเวิร์ดค่าใหม่ หรือเป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด ซึ่งค่า

ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด > ค่าของคีย์ข้อมูล

ดังนั้นค่าโคดเวิร์ดที่ได้ใหม่เป็น โคดเวิร์ดค่าบวก

นั่นคือ $C_{KANOKPORN}$(KANDA) = (4, D)

และ key (e) < Key (m)

KANDA < KANOKPORN

ดังนั้น e เป็นสมาชิกในกลุ่ม S2

และในทำนองเดียวกัน สมาชิกในกลุ่ม S3 ค่าโคดเวิร์ดมีค่าเท่ากับค่าโคดเวิร์ดของตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล ทำให้ต้องเข้าถึงคีย์ข้อมูลใหม่เพื่อเปรียบเทียบหาลำดับความแตกต่างถัดไป

จาก ค่าโคดเวิร์ด m คือ คีย์ที่ 1 KANOKPORN (1, K)

ค่าโคดเวิร์ด e คือ คีย์ที่ 2 KANUENGNID (1, K)

การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดได้ค่าโคดเวิร์ดเท่ากันแล้ว ทำการเปรียบเทียบค่าคีย์ของตัวอักษรลำดับต่อไปจากค่าไบต์แรกที่แตกต่างกัน

1 K A N O K P O R N

. . .

2 K A N U E N G N I D

|

ตำแหน่งที่ข้อมูลแตกต่างกันอีก

ในที่นี้ ค่าคีย์ KANOKPORN ซึ่งเป็นตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล เป็นคีย์ที่ใช้ในการหาค่าโคดเวิร์ดค่าใหม่ หรือเป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด ซึ่งค่า

ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด < ค่าของคีย์ข้อมูล

ดังนั้นค่าโคดเวิร์ดที่ได้ใหม่เป็น โคดเวิร์ดค่าลบ

นั่นคือ $C_{KANOKPORN}$(KANUENONID) = (-4, U)

เช่นเดียวกัน การเปรียบเทียบของโคดเวิร์ด m คือ 1 KANOKPORN (1, K)

และ โคดเวิร์ด e คือ 9 KITIYA (1, K)

ทำให้ต้องเปรียบเทียบคีย์ข้อมูลต่อไปอีกได้

$C_{KANOKPORN}$(KITIYA) = (-2, I)

โดยที่ค่าคีย์ข้อมูล KANUENGNID และ KITIYA มีค่าคีย์ข้อมูล > ค่าคีย์ของ KANONPORN ดังนั้นจึงเป็นสมาชิกของ กลุ่ม S3

<u>การเปรียบเทียบ ค่าโคดเวิร์ดที่เท่ากัน</u>

เมื่อการเปรียบเทียบ ค่าโคดเวิร์ด m = (i,x) (m คือตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล)

กับ ค่าโคดเวิร์ด e = (i,x)

การเปรียบเทียบ ค่าโคดเวิร์ดซึ่งแสดงค่าโคดเวิร์ดเท่ากัน ทำให้ต้องเข้าถึงคีย์ข้อมูลเพื่อทำการเปรียบค่าคีย์ข้อมูลต่อ เริ่มจาก ไบต์ที่ (i+1) ต่อไป และเมื่อสิ้นสุดการเปรียบเทียบนั้น จะได้ค่าโคดเวิร์ดใหม่ของคีย์ทันที (ซึ่งมี ค่าคีย์ของ m เป็น ตัวกำหนดค่าโคดเวิร์ด) และทราบการวางตำแหน่งของ e ว่าเป็นสมาชิกใน S2 หรือ S3 ด้วย

ในการเปรียบเทียบข้อมูลโดยการใช้ค่าโคดเวิร์ดแทนค่าคีย์ข้อมูลทำให้สามารถกระจายกลุ่มข้อมูลเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ 5 กลุ่มคือ S1, S2, M, S3, S4 แทน

โดย $K_{S1} <= K_{S2} <= M <= K_{S3} <= K_{S4}$

<u>การใช้ค่าโคดเวิร์ดแทนค่าคีย์ข้อมูลพบว่า</u>

1. การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดทำให้สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย 5 กลุ่ม คือ S1,S2,M,S3,S4

2. การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดครั้งเดียว สามารถวางตำแหน่งของข้อมูลได้เลย

3. การเปรียบเทียบข้อมูลไม่จำเป็นต้องเริ่มที่ไบต์แรกสุดของข้อมูลทุกครั้ง ลดความซ้ำซ้อนในการทำงาน

4. ลดการเข้าถึงคีย์ข้อมูลซึ่งเป็นชุดลำดับตัวอักษรยาว ๆ ลง โดยใช้ค่าโคดเวิร์ดก็ให้ความแตกต่างของข้อมูลได้

5. การทำงานบางขั้นตอนทำได้พร้อม ๆ กัน เช่น เมื่อจัดวางตำแหน่งของข้อมูลลงในกลุ่ม S1, S2, S3 และ S4 โดยการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดและทำให้ต้องสร้างค่าโคดเวิร์ดขึ้นใหม่ โดยการเปรียบเทียบค่าคีย์ข้อมูลเพื่อหาลำดับแตกต่างถัดไป เมื่อพบความแตกต่างของคีย์ข้อมูล ทำให้ได้ค่าโคดเวิร์ดใหม่ของคีย์ได้ด้วย และค่าโคดเวิร์ดใหม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเปรียบเทียบรอบการแบ่งส่วนข้อมูลต่อไปได้

ดังเช่น กลุ่ม S3 เมื่อทำการแบ่งส่วนข้อมูลครั้งต่อไปหรือทำการเปรียบเทียบข้อมูลในกลุ่ม S3

ซึ่งมีสมาชิกในกลุ่มคือ

2 KANUENGNID (-4, U)

9 KITIYA (-2, I)

การเปรียบเทียบค่าเพียงครั้งเดียว ก็ให้ความแตกต่างของข้อมูลได้ทันที นั่นคือ

ค่าโคดเวิร์ด (-4, U) < ค่าโคดเวิร์ด (-2, I)

KANUENGNID < KITIYA

จะเห็นว่าลดการเปรียบเทียบตัวอักษรส่วนแรกที่จะต้องเปรียบเทียบซ้ำซ้อน เมื่อใช้ค่าคีย์ข้อมูลเป็นตัวเปรียบเทียบ เพราะค่าคีย์ข้อมูลจะต้องทำการเปรียบเทียบโดยเริ่มจาก ไบต์แรกสุดของข้อมูลเรื่อย ๆ ไป จนพบที่แตกต่างกัน

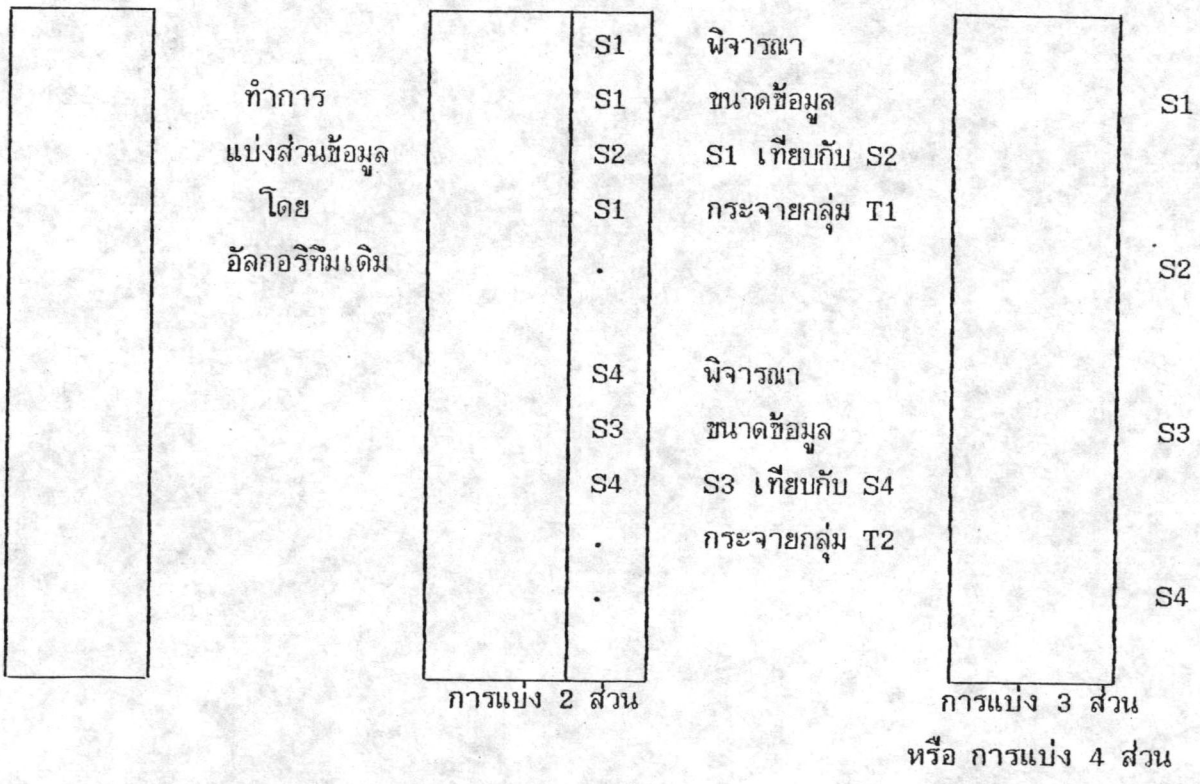
3.6 อัลกอริทึมควิกซอร์ตของ Baer และ Yi-Bing Lin

ในการนำค่าโคดเวิร์ดมาประยุกต์ใช้งานในอัลกอริทึมควิกซอร์ตของ Baer และ Yi-Bing Lin นั้น โดยใช้ลักษณะการทำงานเช่นเดิมของอัลกอริทึมควิกซอร์ต โดยในการแบ่งส่วนข้อมูลแต่ละรอบ จะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนก่อน ตามลักษณะการทำงานอัลกอริทึมเดิม

โดยได้แบ่งการทำงานในการแบ่งส่วนข้อมูลเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งส่วนโดยการเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดเพื่อแบ่งข้อมูลทั้งหมด เป็นชุดลำดับบน T1 (ประกอบด้วย S1 และ S2) และ ชุดลำดับล่าง T2 (ประกอบด้วย S3 และ S4) โดยแต่ละค่าข้อมูลมีเครื่องหมายแสดงกลุ่มที่อยู่จริง (S1,S2,S3,S4)

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาเพื่อแบ่ง T1 หรือ T2 เป็น กลุ่มย่อยต่อไป การพิจารณาการแบ่งข้อมูล T1 และ T2 ต่อนั้น พิจารณาจากขนาดของข้อมูลของกลุ่มย่อยว่าถ้ามีขนาดใกล้เคียงกันจะทำการอ่านข้อมูล T1 (T2) อีกครั้งเพื่อกระจายข้อมูลออกเป็น S1 และ S2 (S3 และ S4) การกระจายนี้โดยใช้เครื่องหมายที่สร้างในขั้นตอนแรก



รูปที่ 3.3 การแบ่งส่วนข้อมูลตาม อัลกอริทึมควิกซอร์ตของ Baer และ Yi-Bing Lin

ถ้าจำนวนข้อมูลในกลุ่มย่อย S1 เทียบกับ S2 และ S3 เทียบกับ S4 มีค่าไม่ใกล้เคียงกันก็จะใช้กลุ่ม T1 และ T2 เป็นข้อมูลเข้าในการแบ่งส่วนครั้งต่อไป โดยถือเป็นการทำงานที่เป็นการแบ่ง 2 ส่วน หรือ ทู-เว พาทิชันนิง

ถ้าสามารถกระจายกลุ่มของ T1 (T2) ออกเป็น S1 และ S2 (S3 และ S4) ได้อย่างใดอย่างหนึ่งคือเป็น T1,S3,S4 หรือ S1,S2,T2 เรียกเป็นการทำการแบ่ง 3 ส่วน หรือ ทรี-เว พาทิชันนิง และใช้แต่ละกลุ่มย่อยเป็นข้อมูลเข้าในการแบ่งส่วนข้อมูลครั้งต่อไปตามลำดับ คือ T1, S3 ,S4 หรือ S1,S2, T2

ถ้าสามารถกระจายกลุ่มของ T1 เป็น S1 และ S2 และ กระจาย T2 เป็น S3 และ S4 ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเข้าต่อไป เรียกเป็นการทำงานที่เป็นการแบ่ง 4 ส่วน หรือ โฟร-เว พาทิชันนิง

ในการทำงานเรียงลำดับข้อมูล โดยนำค่าโคดเวิร์ดมาประยุกต์ใช้งานตามอัลกอริทึมควิกซอรต์เดิมของ Baer และ Yi-Bing Linนั้น การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดไม่ได้ให้กระจายข้อมูลตามลักษณะที่ข้อมูลกระจายได้ แต่จะเปรียบเทียบข้อมูลตามอัลกอริทึมเดิมให้เป็นชุดลำดับบนและล่าง เปรียบเทียบสลับตอนปลายทั้งสองด้านของชุดลำดับ และสลับตำแหน่งของข้อมูลนั้น ขณะเดียวกันมีเครื่องหมายเพื่อระบุว่าข้อมูลเป็นของกลุ่มย่อย S1,S2,S3 หรือ S4 และมาพิจารณาจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มเพื่อควรจะกระจายกลุ่มต่อ ถ้าไม่ได้กระจายกลุ่มออกก็ไม่ได้ช่วยให้การใช้ค่าโคดเวิร์ดในการเปรียบเทียบเกิดประโยชน์ หรือหากมีการกระจายข้อมูลออกต้องทำการอ่านข้อมูลอีกรอบ

นอกจากนี้การเปรียบเทียบข้อมูลโดยการอ่านข้อมูลสลับตอนต้นและตอนท้ายของชุดลำดับเป็นไปได้ ที่ทำให้ผลการเรียงลำดับของข้อมูลที่ได้เกิดไม่เสถียรภาพ (Unstable) ขึ้นได้

ในการทำงานแบ่งส่วนแต่ละรอบเกิดเป็นชุดลำดับย่อย ๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลเข้าเพื่อแบ่งส่วนต่อไป ในลักษณะที่เป็นการทำงานเวียนซ้ำการทำงานลักษณะเดิม (Recursive) เรื่อย ๆ ดังนั้นชุดลำดับย่อยต่าง ๆ ที่ได้แต่ละรอบ ถ้ายังไม่ได้ใช้เป็นข้อมูลเข้าในรอบต่อไปแล้วจะต้องมีเนื้อที่หน่วยความจำเพิ่มขึ้น เพื่อใช้เก็บค่าอินเด็กซ์คือค่าตำแหน่งที่อยู่เริ่มต้น และ ค่าตำแหน่งที่อยู่สุดท้ายของแต่ละกลุ่มข้อมูลย่อย ที่จะใช้งานในรอบ ๆ ต่อไปด้วย เพื่อจะนำขึ้นมาใช้งานต่อในรอบต่อ ๆ ไปเมื่อได้เป็นข้อมูลเข้าใหม่

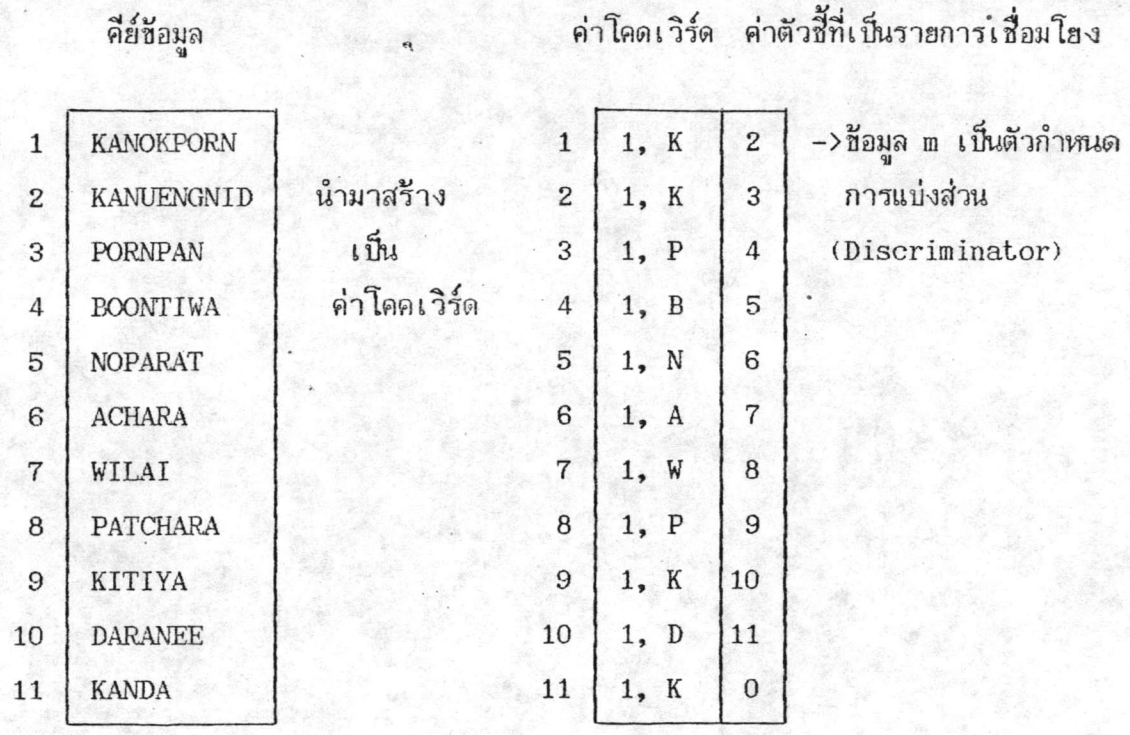
3.7 แนวทางการปรับปรุงการทำงาน

ในการเรียงลำดับข้อมูลที่เป็นชุดตัวอักษรนั้น การเปรียบเทียบข้อมูลในการเรียงลำดับจะมีการสลับตำแหน่งของข้อมูลใหม่ เพื่อให้เรียงลำดับกันตามที่ต้องการจากค่าข้อมูลน้อยไปมาก หรือ จากมากไปน้อย ซึ่งถ้าข้อมูลเป็นชุดลำดับของตัวอักษรยาว ๆ แล้ว การสลับตำแหน่งที่อยู่ของชุดตัวอักษรยาว ๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงานเพื่อเคลื่อนย้ายข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงมีการใช้ชุดลำดับของตัวชี้ข้อมูล (Array of Pointer) เพื่อใช้เก็บตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลแทน เมื่อมีการสลับตำแหน่งของข้อมูล ให้สลับตำแหน่งของตัวชี้ข้อมูลในชุดลำดับตัวชี้แทน ดังนั้นเมื่อข้อมูลได้เรียงลำดับเรียบร้อยแล้ว จะได้ชุดลำดับของตัวชี้ข้อมูลที่มีการเรียงลำดับตามค่าของข้อมูลจริง ๆ

โครงสร้างข้อมูลที่นำมาใช้ในการทำงาน เพื่อแยกชุดลำดับของข้อมูลให้เป็นกลุ่มย่อยหลาย ๆ กลุ่ม สามารถใช้รายการเชื่อมโยง (Linked List) ในการทำงาน จากชุดลำดับของคีย์ข้อมูลทั้งหมด นำมาสร้างเป็นชุดลำดับของค่าโคดเวิร์ด และชุดลำดับของตัวชี้ข้อมูลนำมาใช้เก็บค่าของรายการเชื่อมโยงแทน คือตัวชี้ของข้อมูลตัวแรกเก็บค่าที่อยู่ของข้อมูลตัวที่สองไว้ ในลักษณะเดียวกันนี้เรื่อยไป ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเชื่อมโยงต่อกันเป็นหนึ่งรายการเชื่อมโยง ในข้อมูลตัวสุดท้ายของรายการเชื่อมโยงเก็บค่าที่แสดงว่าสิ้นสุดรายการซึ่งใช้เป็นค่า 0 หรือค่าลบ การทำงานเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลจะอ่านข้อมูลโคดเวิร์ดจากตอนต้นของรายการเชื่อมโยงเรื่อย ๆ ไป เมื่อการเปรียบเทียบค่าของโคดเวิร์ดทำให้ทราบว่าข้อมูลเป็นสมาชิกของกลุ่มใด (S1,S2,S3 หรือ S4) ให้ทำการเชื่อมโยงรายการกันใหม่ตามกลุ่มข้อมูลย่อยนั้นๆ เป็นกลุ่มเดียวกัน การอ่านข้อมูลมาเปรียบเทียบโดยการอ่านตามค่าในรายการเชื่อมโยง จนพบว่าสิ้นสุดของรายการเชื่อมโยงนั้นแล้วคือพบค่าศูนย์ หรือ ค่าลบ จากการอ่านข้อมูลทั้งหมดครั้งเดียวสามารถกระจายข้อมูลเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะที่ข้อมูลกระจายได้ โดยข้อมูลในกลุ่มย่อยต่างๆ มีลักษณะเป็นรายการเชื่อมโยงย่อย ๆ ของข้อมูล เพื่อใช้ในการแบ่งส่วนข้อมูลต่อไป

ตัวอย่างแสดงการใช้รายการเชื่อมโยงในการแบ่งส่วนข้อมูล

ในการใช้ค่าโคดเวิร์ดและตัวชี้ข้อมูลเพื่อแทนค่าของข้อมูลในการเปรียบเทียบ

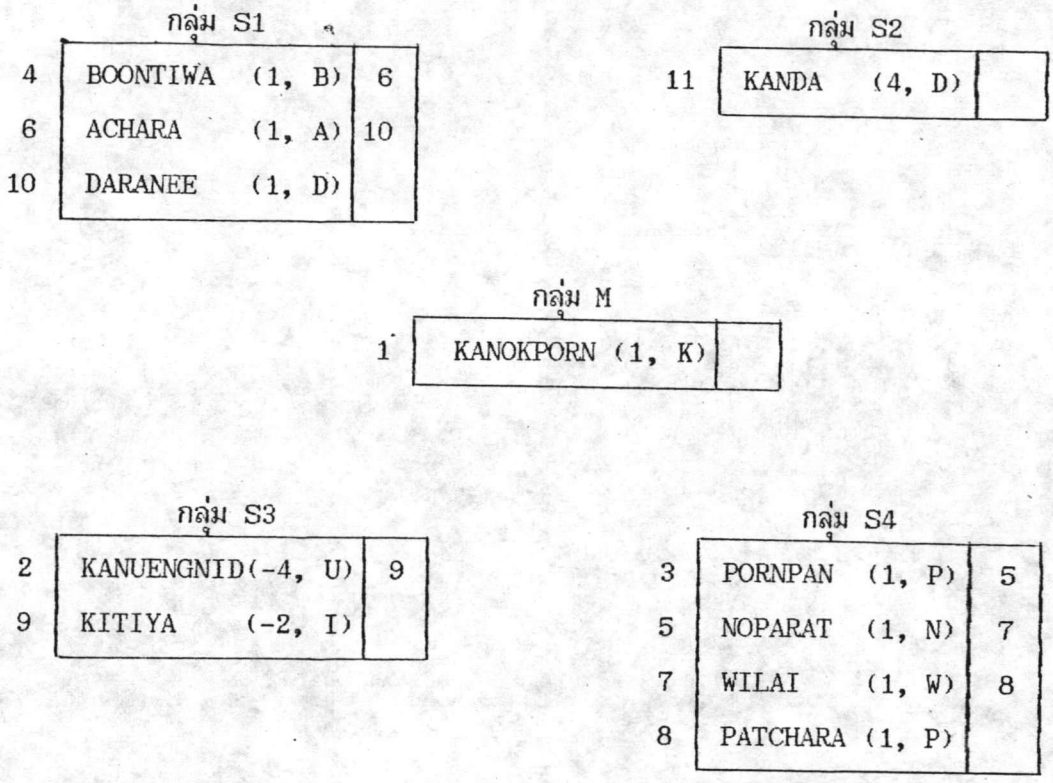


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเชื่อมโยงค่าโคดเวิร์ด

สร้างรายการเชื่อมโยงของข้อมูลตามลำดับให้เป็นกลุ่มข้อมูลเดียวกันคือ กลุ่ม S

ในการทำงานเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล จะเลือกค่าโคดเวิร์ดจากกลุ่มข้อมูลเป็นตัวกำหนดการแบ่งส่วนข้อมูล m ขึ้นมาและเปรียบเทียบข้อมูลตามรายการเชื่อมโยงตามลำดับ แทนการอ่านข้อมูลสลับตอนปลายของชุดลำดับ นั่นคือ ตอนแรกสุด m จะเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวที่ 2 ตามค่าในรายการเชื่อมโยงของ m แล้วเปรียบเทียบกันตัวถัดไปที่อยู่ในการเชื่อมโยงนั้นเรื่อยไป ซึ่งจะทราบจากการเปรียบเทียบว่าข้อมูลอยู่ในกลุ่มย่อยใด (S1, S2, S3 หรือ S4)

การแบ่งส่วนข้อมูลรอบที่ 1 จากการเปรียบเทียบ ค่าโคดเวิร์ดทำให้เกิดกลุ่มข้อมูลย่อยดังนี้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการแบ่งส่วนจากการใช้รายการเชื่อมโยง

ขณะเดียวกันจะมีการเก็บค่าอินเด็กซ์เริ่มต้นและค่าอินเด็กซ์สุดท้ายของแต่ละกลุ่มข้อมูลไว้

เช่น

	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย
S1	4	10
S2	11	11
M	1	1
S3	2	9
S4	3	8

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างแสดงค่าอินเด็กซ์ที่ได้จากการแบ่งส่วน

ขณะที่ทำการเปรียบเทียบข้อมูลจะทำการปรับปรุงข้อมูลในการเชื่อมโยงใหม่ ให้เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าในกลุ่มเดียวกันแทน คือเป็นกลุ่มตามที่ข้อมูลกระจายได้

ดังเช่น

	ค่าคีย์ข้อมูล
1	KANOKPORN
2	KANUENGNID
3	PORNPAN
4	BOONTIWA
5	NOPARAT
6	ACHARA
7	WILAI
8	PATCHARA
9	KITIYA
10	DARANEE
11	KANDA

	ค่าโคดเวิร์ด	ค่าตัวชี้ที่เป็นรายการเชื่อมโยงข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน
1	1, K	
2	-4, U	9
3	1, P	5
4	1, B	6
5	1, N	7
6	1, A	10
7	1, W	8
8	1, P	
9	-2, I	
10	1, D	
11	4, D	

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างแสดงรายการเชื่อมโยงใหม่ที่ได้จากการแบ่งส่วน

แต่ลักษณะของชุดลำดับย่อยนี้เป็นค่าที่อยู่ติดต่อกันเช่นเดิม ทุกค่ายังคงอยู่ในตำแหน่งที่เดิม แต่จะมีส่วนของรายการเชื่อมโยงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ในกลุ่มเดียวกันแทนเช่นกลุ่ม S1 เริ่มที่อินเด็กซ์ 4, 6 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งแสดงลำดับการเชื่อมโยงข้อมูลในกลุ่มเดียวกันเอาไว้ ดังนั้นในรอบต่อไปที่เป็นข้อมูลเข้าในการแบ่งส่วนข้อมูลต่อ รายการเชื่อมโยงจะถูกปรับปรุงข้อมูลใหม่ตามการกระจายกลุ่มอีกต่อไปเช่นนี้เรื่อย ๆ

กลุ่มข้อมูลย่อยแต่ละกลุ่มจะต้องถูกทำงานแบ่งส่วนเรื่อยไป เป็นการทำงานเวียนซ้ำจนกระทั่งไม่สามารถแบ่งส่วนต่อไปได้อีก ทำให้จำเป็นต้องมีเนื้อที่ใช้งานที่เป็นสแตค (Stack) เพื่อใช้เก็บข้อมูลของตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้ายของกลุ่มข้อมูลย่อยที่ยังไม่เป็นข้อมูลเข้าแบ่งส่วนไว้ก่อน เพื่อข้อมูลเหล่านี้จะถูกดึงมาใช้งานในการแบ่งส่วนข้อมูลครั้งต่อ ๆ ไป ในการใช้รายการเชื่อมโยง สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายเหล่านี้ในส่วนที่ใช้เชื่อมโยงข้อมูลแทน และทำการเชื่อมโยงกลุ่มข้อมูลย่อยต่าง ๆไว้ด้วยกัน โดยการกำหนด ลักษณะของข้อมูลที่เก็บอยู่ในส่วนรายการเชื่อมโยงดังนี้ ถ้าค่าข้อมูลในส่วนรายการเชื่อมโยงเป็นค่าบวก แสดงว่าข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลของกลุ่มข้อมูลย่อยเดียวกัน แต่ถ้ามีค่าเป็นค่าลบแสดงว่าสิ้นสุดการเชื่อมโยงของข้อมูลในกลุ่มเดียวกันแล้ว และค่าข้อมูลของค่าลบนั้นจะเป็นค่าเริ่มต้นของกลุ่มข้อมูลย่อยถัดไป การใช้รายการเชื่อยโยงช่วยให้การทำงานต่อเนื่องกันได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เนื้อที่ใช้งานสแตค

จะเห็นว่าเมื่อกระจายกลุ่ม S เป็นกลุ่ม S1,S2,M,S3,S4 นี้ เราสามารถเพิ่มการเชื่อมโยงการทำงานของการแบ่งส่วนข้อมูลในรอบต่อๆ ไปลงในรายการเชื่อมโยงไว้ นั่นคือเอาค่าอินเด็กซ์ที่เป็นค่าเริ่มต้น และค่าสุดท้ายของแต่ละกลุ่มใส่ในรายการเชื่อมโยงเอาไว้แทนการเก็บลงในเนื้อที่หน่วยความจำที่เป็น สแตค ตามลำดับการทำงาน นั้นคือ อ่านค่าของชุดลำดับของค่าอินเด็กซ์ลงในรายการเชื่อมโยง โดยถ้าใช้ลำดับการทำงานเริ่มจากกลุ่มย่อย S4,S3,S2,S1 ตามลำดับ การเชื่อมโยงดังรูปที่ 3.8

เมื่อเลือกเอากลุ่ม S4 เป็นชุดลำดับย่อยต่อไปเข้าแบ่งส่วนข้อมูลต่อ ดังนั้น ค่าในรายการเชื่อมโยงสุดท้ายของกลุ่ม S4 จะชี้ไปยังตำแหน่งของกลุ่มถัดไปที่จะแบ่งส่วนต่อ ในที่นี้คือกลุ่ม S3 ซึ่งตำแหน่งแรกสุดของกลุ่ม S3 คือค่าอินเด็กซ์ 2 และในทำนองเดียวกันจากกลุ่ม 3 เชื่อมโยงการทำงานต่อไปเรื่อย ๆ

กลุ่ม 3

2	KANUENGNID	(-4,U)	9
9	KITIYA	(-2,I)	-1

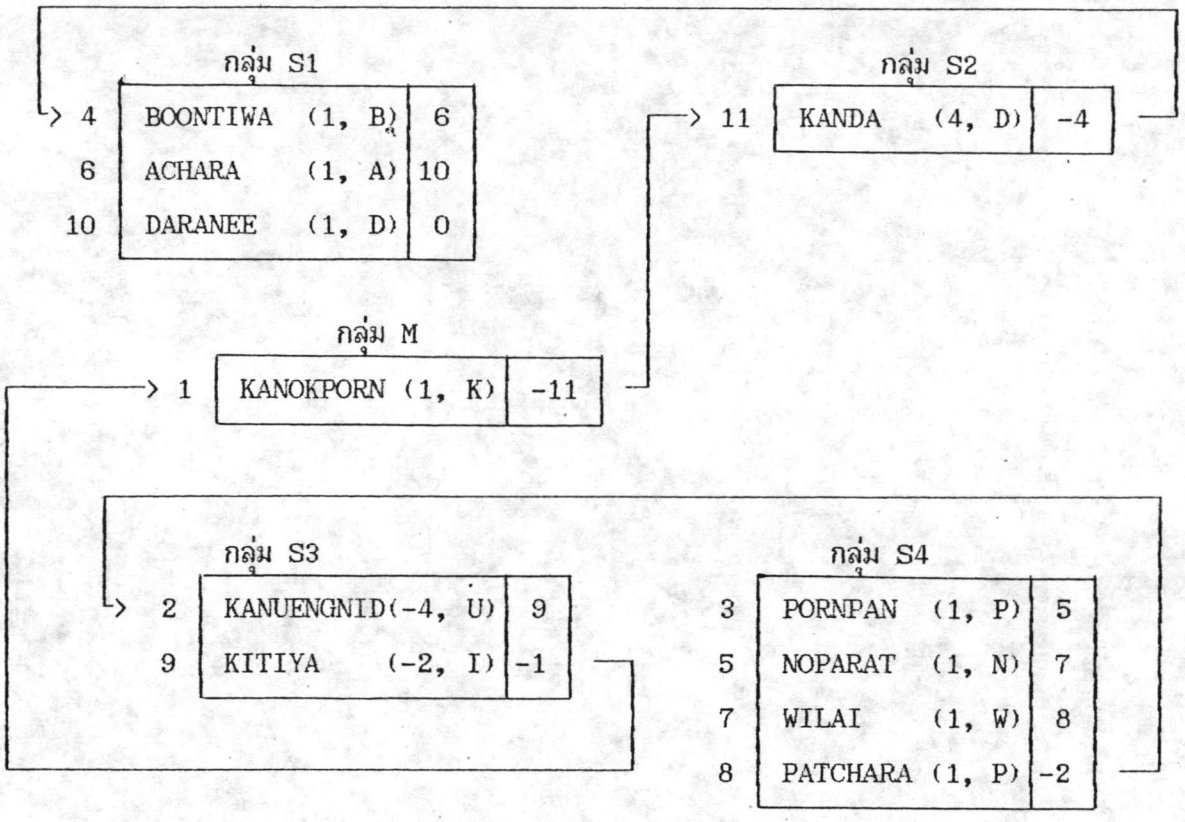
กลุ่ม 4

3	PORNPAN	(1, P)	5
5	NOPAPAT	(1, N)	7
7	WILAI	(1, W)	8
8	PATCHARA	(1, P)	-2

ใช้ค่าลบแสดงการเชื่อมโยงทำงาน

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการเชื่อมโยงการทำงาน

เพื่อให้ทราบความแตกต่างระหว่างการเชื่อมโยงของข้อมูลในกลุ่มเดียวกันเข้าด้วยกันและการเชื่อมโยงที่เป็นการเชื่อมโยงการทำงาน จึงใช้ ค่าบวก (Positive Value) สำหรับการเชื่อมโยงข้อมูลกลุ่มเดียวกันและใช้ ค่าลบ (Negative Value) สำหรับการเชื่อมโยงการทำงานและใช้ค่าศูนย์ ซึ่งแสดงว่าสิ้นสุดการเชื่อมโยงการทำงานแล้ว เมื่อได้สร้างรายการเชื่อมโยงการทำงานเมื่อแบ่งส่วนข้อมูลในรอบที่ 1 แล้ว และเชื่อมโยงการทำงานไว้ด้วยกันจะได้ลักษณะเป็นรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแสดงการเชื่อมโยงข้อมูลทั้งหมด

การแบ่งส่วนข้อมูลรอบที่ 2 ตามลำดับการทำงานแล้วข้อมูลเข้า คือ กลุ่มข้อมูล S4
การเปรียบเทียบค่าโคดเวิร์ดตามรายการเชื่อมโยงของกลุ่ม S4 ทำให้ได้กลุ่มข้อมูลย่อยดังนี้

กลุ่ม S4

3	PORNPAN	(1, P)	5	<- เลือกเป็นตัวกำหนด
5	NOPARAT	(1, N)	7	การแบ่งส่วนข้อมูล m
7	WILAI	(1, W)	8	
8	PATCHARA	(1, P)	-2	

ทำให้กระจายกลุ่มออกเป็น

S1

5	NOPARAT	(1,N)	

S2

8	PATCHARA	(2,A)	

M

3	PORNPAN	(1,P)	

S4

7	WILAI	(1,W)	

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างแสดงข้อมูลที่ได้จากการแบ่งส่วน S4

ในการเชื่อมโยงการทำงานคือนำรายการย่อยที่ได้จากแบ่งส่วนมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน เมื่อพบว่ารายการย่อยที่ได้จากการแบ่งส่วนมีเพียงข้อมูลเดียวเท่านั้นจะไม่เชื่อมโยงรายการนั้นไว้ในการทำงาน แต่เชื่อมโยงรายการนั้นในรายการเชื่อมโยงของข้อมูลที่เรียงลำดับแทน ซึ่งกำหนดให้ ตัวแปรชนิดเลขจำนวนเต็ม f ใช้เก็บตำแหน่งเริ่มต้นของรายการเชื่อมโยงที่เรียงลำดับแล้ว ซึ่งค่าเริ่มต้นของ f คือ ค่าศูนย์แสดงว่าเป็นรายการเชื่อมโยงที่ยังไม่มีสมาชิก

ในการทำงานเชื่อมโยงการทำงานนั้น เมื่อกำหนดการทำงานจาก S4 ก่อนนั้นเป็นการหาข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดก่อน ดังตัวอย่างข้อมูลในกลุ่ม S4 เมื่อแบ่งส่วนข้อมูลแล้วได้ข้อมูลย่อยดังรูปที่ 3.10 เมื่อทำการเชื่อมโยงการทำงานเริ่มจาก S4 นั้นเนื่องจากข้อมูลในรายการย่อยที่ได้ไม่ต้องแบ่งส่วนต่อ นำข้อมูลเข้าเชื่อมโยงการเรียงลำดับแทน โดยนำข้อมูลเพิ่มลงในรายการเชื่อมโยงของการเรียงลำดับข้อมูล ตามวิธีการแทรกข้อมูลในรายการเชื่อมโยง (Insert Linked List) ซึ่งมีตัวแปร f ชี้ตำแหน่งเริ่มต้น และการเพิ่มข้อมูลทำที่ตำแหน่ง f

จาก f = 0

เมื่อเพิ่ม 7 | WILAI (1,W) | | เข้าในรายการเชื่อมโยงการเรียงลำดับทำให้ได้รายการเชื่อมโยงการเรียงลำดับเป็น

f = 7

7 | WILAI (1,W) | 0

และเมื่อเพิ่ม 3 | PORNPAN (1,P) | | เข้าในรายการเชื่อมโยงการเรียงลำดับทำให้ได้รายการเชื่อมโยงการเรียงลำดับเป็น

f = 3

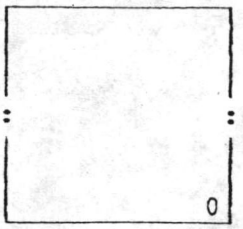
3 | PORNPAN (1,P) | 7 7 | WILAI (1,W) | 0

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการเชื่อมโยงข้อมูลที่เรียงลำดับ

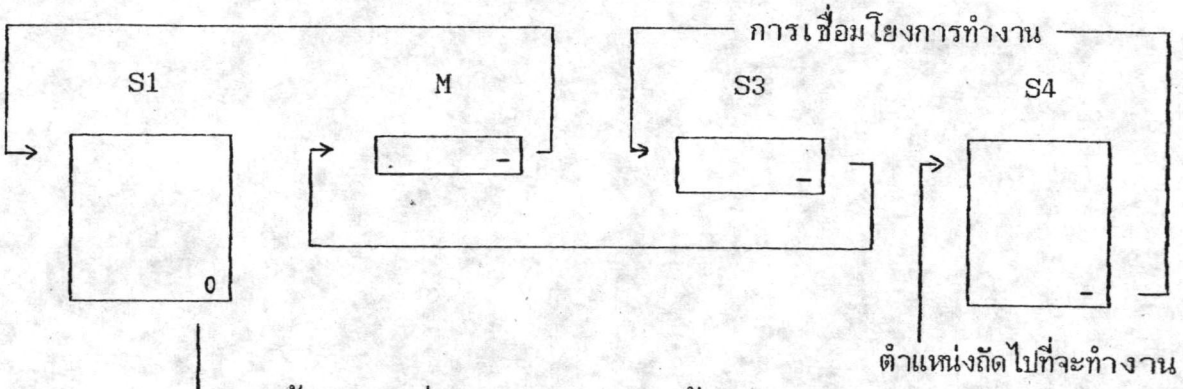
การกำหนดทิศทางการทำงานของการเชื่อมโยง จาก S4,S3,S2 และ S1 ตามลำดับ คือการเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปมาก เมื่อการทำงานสิ้นสุดจะได้ ตัวแปร f ชี้ตำแหน่งที่มีค่าข้อมูลน้อยที่สุด และค่าในรายการเชื่อมโยงของค่าที่น้อยที่สุด จะเชื่อมโยงไปข้อมูลต่อไปตามลำดับที่มีการเรียงลำดับ จนกระทั่งพบค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าสิ้นสุดการเรียงลำดับของข้อมูลแล้ว และในทำนองเดียวกัน ในการกำหนดให้ทิศทางการทำงานจาก S1,S2,S3 และ S4 ตามลำดับ คือการเรียงลำดับจากมากไปน้อย เมื่อสิ้นสุดการทำงานจะได้ ตัวแปร f ชี้ตำแหน่งที่มีค่าข้อมูลมากที่สุด

ในรูปที่ 3.12 เป็นการแสดงการเชื่อมโยงการต่อเนื่องการทำงานทั้งหมดเมื่อมีการแบ่งส่วนข้อมูลไปเรื่อยๆ จากข้อมูล S ถูกแบ่งส่วนทำให้ได้ข้อมูลเป็น S1, M, S3, และ S4 แล้วทำการเชื่อมโยงการทำงาน จาก S4, S3, M และ S1 โดยใช้ค่าในรายการเชื่อมโยงเป็นค่าลบเพื่อแสดงว่าเป็นการเชื่อมโยงการทำงาน และในรายการเชื่อมโยงกลุ่มสุดท้ายการเชื่อมโยงการทำงานคือตำแหน่งสุดท้ายของข้อมูล S ซึ่งคือ ค่า 0 ในตัวอย่างนี้กลุ่ม S1 เชื่อมโยงการทำงานไปยัง ค่าศูนย์ซึ่งแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว เมื่อทำการเชื่อมโยงการทำงานแล้วจะทราบได้ว่าข้อมูลกลุ่มย่อยใดเป็นข้อมูลเข้าในรอบต่อไป ข้อมูลกลุ่ม S4 เป็นข้อมูลเข้าต่อไป และเมื่อแบ่งส่วนข้อมูล S4 แล้วได้กลุ่มย่อยเป็น S4-2, M4, S4-3 และ S-4 พิจารณาแต่ละกลุ่มย่อยจาก กลุ่ม S4-4, S4-3, M4 และ S4-2 เพื่อเชื่อมโยงการทำงาน หรือเชื่อมโยงการเรียงลำดับ การเชื่อมโยงการทำงานในกลุ่มสุดท้าย S4-2 นั้นจะไปยังตำแหน่งสุดท้ายของ S4 หมายถึงตำแหน่งที่กลุ่ม S4เชื่อมโยงไปคือไปที่ S3 เป็นการต่อเนื่องการทำงานโดยคงรักษาลำดับของข้อมูลไว้ เพราะค่าคีย์ข้อมูลในกลุ่ม S3 มีค่าข้อมูลน้อยกว่ากลุ่มของ S4-2 (ลำดับของคีย์ $K_{S3} < K_{S4-2} < M_4 < K_{S4-3}$) และข้อมูลเข้าแบ่งส่วนในรอบต่อไปคือ S4-3

กลุ่มข้อมูล S และ f = 0 ตัวแปรชี้ตำแหน่งรายการเชื่อยโยงที่เรียงลำดับแล้ว



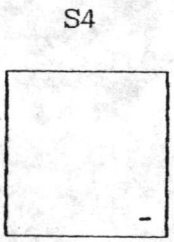
ทำการแบ่งส่วนข้อมูลทำให้เกิดเป็นรายการเชื่อมโยงย่อย ๆ ดังนี้



ตำแหน่งถัดไปที่จะทำงาน

แสดงสิ้นสุดการเชื่อมโยงการทำงานและสิ้นสุดของข้อมูลแล้ว

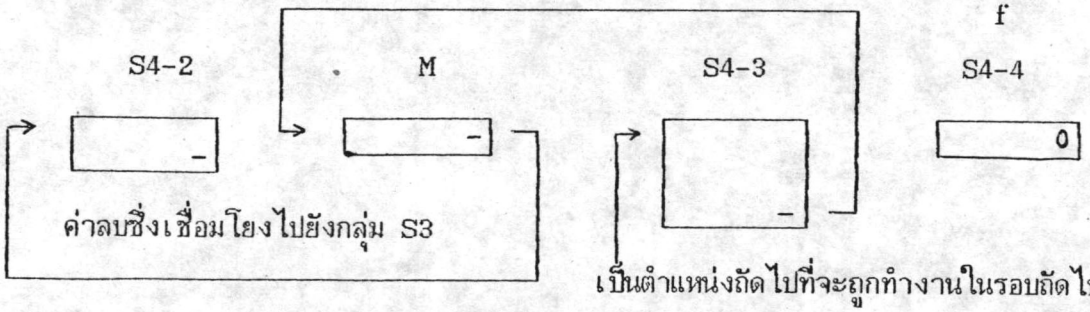
ดังนั้น กลุ่ม S4 จะเป็นลำดับการทำงานต่อไปที่จะถูกแบ่งส่วนข้อมูล



S4 แบ่งส่วนข้อมูลต่อได้เป็นกลุ่มย่อย S4-2 , M , S4-3 , S4-4

ค่าลบซึ่งเชื่อมโยงไปยังกลุ่ม S3

ทำการแบ่งส่วนข้อมูลทำให้เกิดรายการเชื่อมโยงย่อยดังนี้



เป็นตำแหน่งถัดไปที่จะถูกทำงานในรอบถัดไป

รูปที่ 3.12 แสดงการเชื่อมโยงการต่อเนื่องการทำงานทั้งหมด

สรุปการทำงาน จากข้อมูลเข้าสร้างเป็นรายการเชื่อมโยงของข้อมูลกลุ่มเดียวกันขึ้น การแบ่งส่วนข้อมูลทำให้ แบ่งรายการเชื่อมโยงกลุ่มเดียวกันให้เป็นรายการเชื่อมโยงกลุ่มย่อย ๆ ต่าง ๆ ตามลักษณะที่ข้อมูลสามารถกระจายกลุ่มออกไปได้ เมื่อแบ่งส่วนข้อมูลในแต่ละรอบเป็นกลุ่มย่อย ๆ แล้ว เชื่อมโยงการทำงานของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกัน นั่นคือการเก็บค่าข้อมูลของอินเด็กซ์ค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของแต่ละกลุ่มใส่ในรายการเชื่อมโยงไว้ ตามทิศทางการทำงาน ดังนั้น เมื่อแบ่งส่วนข้อมูลแต่ละรอบ รายการเชื่อมโยงของข้อมูลทั้งหมด ประกอบด้วย ส่วนการเชื่อมโยงของข้อมูลในกลุ่มข้อมูลย่อยเดียวกัน (มีค่าในรายการเชื่อมโยงเป็นค่าบวก) และส่วนการเชื่อมโยงการทำงานของแต่ละกลุ่มตามทิศทางการทำงานที่ต้องการนั้น (มีค่าในรายการเชื่อมโยงเป็นค่าลบ) ในการแบ่งส่วนข้อมูลแต่ละรอบจะทราบว่าข้อมูลเข้ารอบต่อไป คือ ที่ตำแหน่งใด ซึ่งถ้าการแบ่งกลุ่มในรอบนั้นได้กลุ่มข้อมูลย่อย ก็จะใช้เป็นข้อมูลเข้าต่อไป แต่ถ้าได้เป็นลำดับของข้อมูลที่เรียงลำดับแล้ว นำข้อมูลเรียงลำดับจากส่วนท้ายไล่ขึ้นไปสู่ตอนต้น จนพบการเชื่อมโยงการทำงานได้เป็นค่าศูนย์ซึ่งแสดงการสิ้นสุดการทำงานแล้ว เมื่อสิ้นสุดการทำงานคือการแบ่งส่วนข้อมูลนั้นได้เป็นลำดับของข้อมูลที่เรียงลำดับ จะได้ค่าตำแหน่งที่ข้อมูลน้อยที่สุด และได้รายการเชื่อมโยงของลำดับตัวชี้ข้อมูลที่เรียงลำดับตามค่าของข้อมูล

ในการเปรียบเทียบค่าข้อมูลจะอ่านข้อมูลมาเปรียบเทียบตามรายการเชื่อมโยงซึ่งเป็นตามลำดับของข้อมูลในทิศทางเดียวกันตลอด ไม่เป็นการเปรียบเทียบที่ปลายทางของชุดลำดับซึ่งจะมีผลทำให้ดึงข้อมูลซึ่งมีค่าคีย์เท่ากันซึ่งมาทีหลัง ขึ้นมาอยู่ในลำดับต้น ๆ การเปรียบเทียบข้อมูลจะทำการปรับปรุงค่าในรายการเชื่อมโยงใหม่แทนการสลับตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูล ไม่ใช่เนื้อที่หน่วยความจำที่เป็นสแตคเพื่อเก็บข้อมูลอินเด็กซ์ แต่นำข้อมูลนี้เก็บไว้ในส่วนของรายการเชื่อมโยงแทน