

مرتب ساز سخت افزاری

هدف از این پروژه، مرتب سازی یک مجموعه رکورد (به هر عدد ورودی یک رکورد گفته میشود) بصورت صعودی می باشد. مرتب ساز برای اعداد BCD از نوع unsigned می باشد. فرض بر این است یک واحد مقایسه کننده داریم که از هر رکورد فقط یک رقم (digit) می گیرد و کوچکترین رقم را برمیگرداند. مثل مرتب ساز حبابی، در هر مرحله کوچکترین رکورد در بین رکوردهای باقیمانده به خروجی ارسال میشود. در هر کلاک نیز فقط یک رقم مقایسه میگردد و به خروجی ارسال میشود. الگوریتم مرتب سازی را با یک مثال که فرض می کنیم 4 تا رکورد 4 رقمی داریم توضیح می دهیم.

فرض کنید اعداد زیر را در ورودی داریم که میخواهیم بصورت صعودی مرتب کنیم. در مرحله مقدار دهی اولیه (initialization) همه رکوردهای خروجی صفر هستند.

Input records	Output records
6732	0000
5242	0000
3563	0000
3821	0000

این رکوردهای 4 رقمی را بصورت $D_3D_2D_1D_0$ اسم گذاری میکنیم که D بیانگر digit است. ابتدا D_3 همه رکوردها را به واحد مقایسه کننده می دهیم که گفتیم کوچکترین digit را برمیگرداند. لذا در قدم اول رقمهای 6، 5، 3 و 3 به این واحد داده میشود و این واحد رقم 3 را برمیگرداند. یک متغیر بنام state تعریف می کنیم و state را برابر خروجی این واحد که در این مرحله 3 شده است را قرار می دهیم. همزمان رقم 3 را هم با D_3 همه سلولهای آرایه خروجی جمع می زنیم و مقدار state را از همه D_3 های همه رکوردهای ورودی کم می کنیم به شکل زیر

Input records	Output records
3732	3000
2242	3000
0563	3000
0821	3000

در مرحله دوم همه رکوردهایی که مقدار D_3 آنها صفر شده اند را انتخاب می کنیم و کار را در این مرحله فقط با آن رکوردها جلو می بریم به شکل زیر

Input records	Output records
3732	3000
2242	3000
0563	3000
0821	3000

به شکل بازگشتی به مرحله اول برمیگردیم، ولی اینبار D2 رکوردهای قرمز شده را به واحد مقایسه کننده می فرستیم و این واحد کوچکترین digit را که همان 5 است را به خروجی می فرستد و در state ذخیره می کنیم. مقدار state را با D2 دو سلول اول آرایه خروجی جمع می کنیم (به تعداد قرمز شده ها در نظر می گیریم) و همزمان state را از همه D2 های رکوردهای قرمز شده، کم می کنیم

Input records	Output records
3732	3500
2242	3500
0063	3000
0321	3000

حالا فقط رکوردهایی را در نظر می گیریم که دو رقم D3 و D2 آنها صفر شده و کار را فقط با آن رکوردها جلو می بریم

Input records	Output records
3732	3500
2242	3500
0063	3000
0321	3000

دوباره به شکل بازگشتی D1 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3 و D2 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. چون فقط یک رکورد قرمز است، همزمان مقدار state را با D1 تنها بالاترین سلول آرایه خروجی جمع می کنیم و state را هم از D1 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم

Input records	Output records
3732	3560
2242	3500
0003	3000
0321	3000

حالا فقط رکوردهایی را در نظر می گیریم که سه رقم D3، D2 و D1 آنها صفر شده و کار را فقط با آن رکوردها جلو می بریم

Input records	Output records
3732	3560
2242	3500
0003	3000
0321	3000

دوباره به شکل بازگشتی D0 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3، D2 و D1 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D0 سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از D0 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3500
0000	3000
0321	3000

همچنانکه دیده میشود بعد از 4 تا کلاک، کوچکترین رکورد به خروجی ارسال شده است و مقدار آن نیز بین رکوردهای ورودی صفر شده است و حذف میشود. حالا روز از نو، روزی از نو. با ادامه رکوردهای باقیمانده جلو می رویم فقط با این شرط که اولین رکورد بدست آمده در خروجی را قفل می کنیم که در مرحله های بعدی update نشود. اجازه دهید مثال را ادامه دهیم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3500
	3000
0321	3000

در قدم اول D3 همه رکوردها را به واحد مقایسه کننده ارسال می کنیم تا کوچکترین مقدار پیدا شود و در state ذخیره می کنیم. اینبار state=0 خواهد شد. State را با D3 همه سلولهای آرایه خروجی جمع می کنیم (یادتان باشد سلول اول که آبی شده است را نباید دست بزنید) و همزمان state را از D3 همه رکوردهای ورودی کم می کنیم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3500
	3000
0321	3000

در مرحله دوم با رکوردهایی جلو می رویم که D3 آنها در این مرحله صفر شده اند که آنها را رکوردهای قرمز می نامیم. حال بصورت بازگشتی، در بین رکوردهای قرمز شده، D2 آنها را به مقایسه کننده می فرستیم و در state ذخیره می کنیم که state=3 خواهد شد. دوباره state را با D2 بالاترین سلول آرایه خروجی (چون تنها یک رکورد قرمز داریم) جمع و همزمان از D2 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم به شکل زیر

Input records	Output records
3732	3563
2242	3800
	3000
0021	3000

حالا فقط رکوردهایی را در نظر می گیریم که دو رقم D3 و D2 آنها صفر شده و کار را فقط با آن رکوردها جلو می بریم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3800
	3000
0021	3000

دوباره به شکل بازگشتی D1 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3 و D2 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D1 سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از D1 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم.
State=2

Input records	Output records
3732	3563
2242	3820
	3000
0001	3000

دوباره به شکل بازگشتی D0 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3، D2 و D1 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D0 بالاترین سلول خروجی (چون فقط یک رکورد قرمز داریم) جمع می کنیم و state را هم از D0 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3821
	3000
0000	3000

مشاهده می فرمایید که دومین رکورد کوچک در 4 تا کلاک به خروجی ارسال شد. مقدار این رکورد در ورودی صفر شد و حذف می‌گردد. حالا روز از نو، روزی از نو. با ادامه رکوردهای باقیمانده جلو می‌رویم فقط با این شرط که اولین و دومین رکورد بدست آمده در خروجی را قفل می‌کنیم که در مرحله‌های بعدی update نشوند. اجازه دهید مثال را ادامه دهیم

Input records	Output records
3732	3563
2242	3821
	3000
	3000

در قدم اول D3 همه رکوردها را به واحد مقایسه کننده ارسال می‌کنیم تا کوچکترین مقدار پیدا شود و در state ذخیره می‌کنیم. اینبار state=2 خواهد شد. State را با D3 همه سلولهای آرایه خروجی جمع می‌زنیم (یادتان باشد سلول اول و دوم که آبی شده‌اند را نباید دست بزنید) و همزمان state را از D3 همه رکوردهای ورودی کم می‌کنیم

Input records	Output records
1732	3563
0242	3821
	5000
	5000

در مرحله دوم با رکوردهایی جلو می‌رویم که D3 آنها در این مرحله صفر شده‌اند که آنها را رکوردهای قرمز می‌نامیم. حال بصورت بازگشتی، در بین رکوردهای قرمز شده، D2 آنها را به مقایسه کننده می‌فرستیم و در state ذخیره می‌کنیم که state=2 خواهد شد. دوباره state را با D2 بالاترین سلول آرایه خروجی (چون تنها یک رکورد قرمز داریم) جمع و همزمان از D2 همه رکوردهای قرمز شده کم می‌کنیم به شکل زیر

Input records	Output records
1732	3563
0042	3821
	5200
	5000

حالا فقط رکوردهایی را در نظر می‌گیریم که دو رقم D3 و D2 آنها صفر شده و کار را فقط با آن رکوردها جلو می‌بریم

دوباره به شکل بازگشتی D1 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3 و D2 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D1 سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از D1 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم.

State=4

Input records	Output records
1732	3563
0002	3821
	5240
	5000

دوباره به شکل بازگشتی D0 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3، D2 و D1 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D0 سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از D0 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم.

State=2

Input records	Output records
1732	3563
0000	3821
	5242
	5000

همچنانکه دیده میشود سومین رکورد کوچک بعد از 4 کلاک در خروجی ظاهر شد. حالا دوباره، روز از نو، روزی از نو. رکورد قرمز شده را حذف می کنیم و به سه سلول بالایی آرایه خروجی دست نمی زنیم

Input records	Output records
1732	3563
	3821
	5242
	5000

در قدم اول D3 همه رکوردها را به واحد مقایسه کننده ارسال می کنیم تا کوچکترین مقدار پیدا شود و در state ذخیره می کنیم. اینبار state=1 خواهد شد. State را با D3 همه سلولهای آرایه خروجی جمع می کنیم (یادتان باشد سلول اول و دوم و سوم که آبی شده اند را نباید دست بزنید) و همزمان state را از D3 همه رکوردهای ورودی کم می کنیم

Input records	Output records
0732	3563
	3821
	5242
	6000

در مرحله دوم با رکوردهایی جلو می رویم که D3 آنها در این مرحله صفر شده اند که آنها را رکوردهای قرمز می نامیم. حال بصورت بازگشتی، در بین رکوردهای قرمز شده، D2 آنها را به مقایسه کننده می فرستیم و در state ذخیره می کنیم که state=7 خواهد شد. دوباره state را با D2 سلولهای آرایه خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع و همزمان از D2 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم به شکل زیر

Input records	Output records
0032	3563
	3821
	5242
	6700

حالا فقط رکوردهایی را در نظر می گیریم که دو رقم D3 و D2 آنها صفر شده و کار را فقط با آن رکوردها جلو می بریم دوباره به شکل بازگشتی D1 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3 و D2 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D1 سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از D1 همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم. State=3

Input records	Output records
0002	3563
	3821
	5242
	6730

دوباره به شکل بازگشتی D0 رکوردهای قرمز شده (رکوردهایی که D3، D2 و D1 آنها صفر شده است) را به واحد مقایسه کننده می فرستیم که کوچکترین آنها را برگرداند و در state ذخیره کنیم. همزمان مقدار state را با D0

سلولهای خروجی (به تعداد رکوردهای قرمز شده) جمع می کنیم و state را هم از DO همه رکوردهای قرمز شده کم می کنیم. State=2

Input records	Output records
0000	3563
	3821
	5242
	6732

همچنانکه دیده میشود چهارمین رکورد کوچک نیز بعد 4 کلاک به خروجی ارسال شد و رکورد صفرشده آن در ورودی را حذف می کنیم

Input records	Output records
	3563
	3821
	5242
	6732

در این مثال 4 تا رکورد 4 رقمی بعد از 16 تا کلاک بصورت صعودی مرتب شدند. نکته بارز این سورتر این است با کمترین سخت افزار (فقط یک واحد مقایسه کننده تک رقمی) و بدون در نظر گرفتن ایندکس رکوردهای ورودی می تواند عمل مرتب سازی را انجام دهد.

این سورتر می تواند به هر تعداد رکورد ورودی با هر تعداد رقم extend شود. با کمی فکر می توان آن را برای اعداد signed نیز extend کرد (دانشجو خودش می تواند فکر کند ولی برای پروژه لازم نیست)

برای پروژه فرض کنید 64 تا رکورد ورودی با 4 digit مفروض است و شما سخت افزار سورتر را طبق الگوریتم بالا طراحی کنید. طراحی بصورت خط لوله است و از واحدهای همزمان غافل نشوید.

دو سه بار الگوریتم را بخوانید تا بفهمید و بعد به طراحی بپردازید

طراحی شماتیک روی کاغذ یادتان نرود

موفق باشید

بیت الهی