

Bab 4:
Simulasi Event-Diskrit
(Discrete-Event Simulation)

Sumber: Harrell, C., B.K. Ghosh and R.O. Bowden, Jr., *Simulation Using Promodel*, 2nd ed., McGraw-Hill, Singapore, 2003.

Bab 4:

Simulasi Event-Diskrit

Bacaan:

- ▶ Harrell, Bab 4
- ▶ www.teknikindustri.org

Topik

- ▶ *Discrete-event vs. continuous simulation*
- ▶ *Discrete-event simulation*
- ▶ Contoh manual



1. Discrete-event vs. continuous

Types of Simulation

- ▶ Statik atau dinamik
- ▶ Stokastik atau deterministik
- ▶ ***Discrete event*** atau ***continuous***



Apakah “*Discrete-Event Simulation*” itu?

Discrete-Event Simulation

Simulasi dimana perubahan statusnya terjadi pada titik-titik diskrit dalam waktu yang dipicu oleh kejadian (*event*)

Kejadian yang biasa terdapat dalam simulasi:

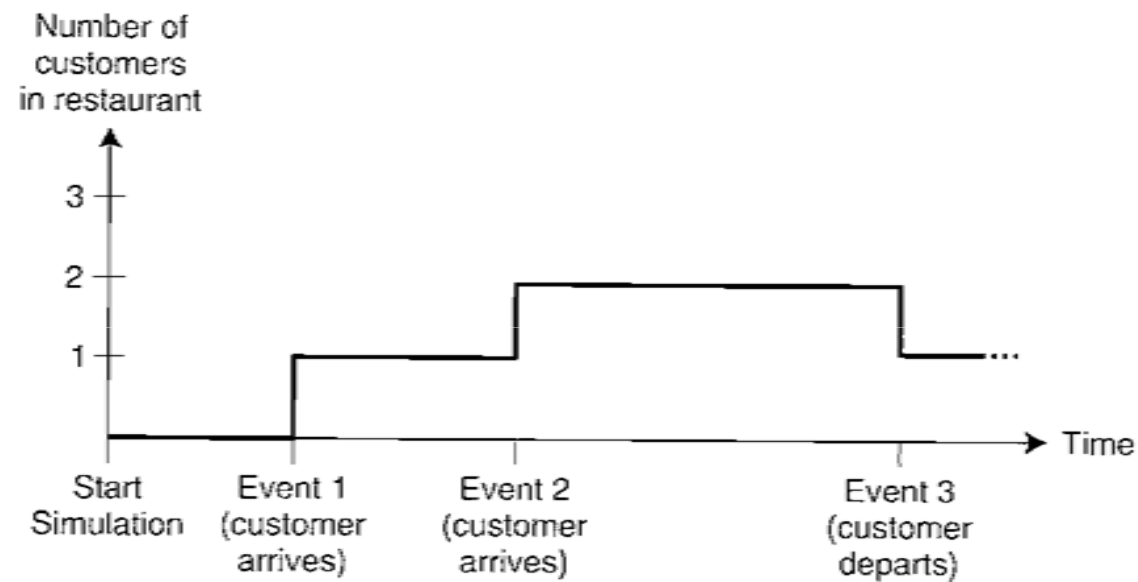
- ▶ Kedatangan sebuah entitas ke sebuah stasiun kerja (*workstation*)
- ▶ Kegagalan *resource*
- ▶ Selesainya sebuah aktivitas
- ▶ Akhir sebuah *shift*



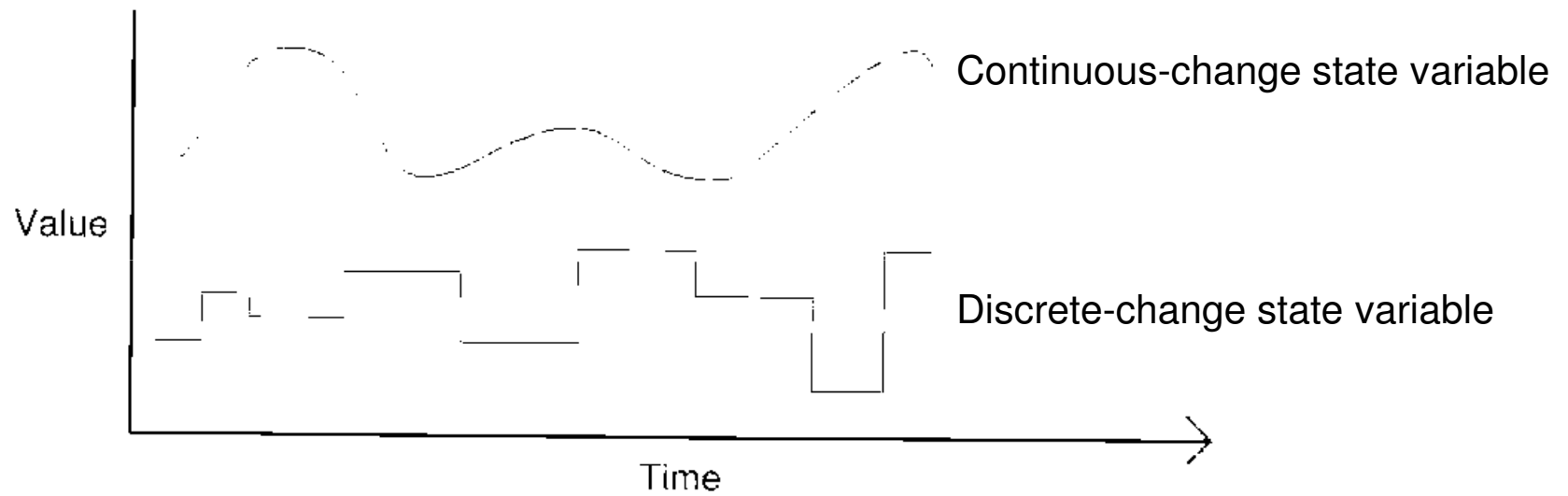
Discrete-event vs. continuous simulation

FIGURE 4.1

Discrete events cause discrete state changes.



Discrete-event vs. continuous simulation



2. Discrete Event Simulation

Kejadian (*Event*)

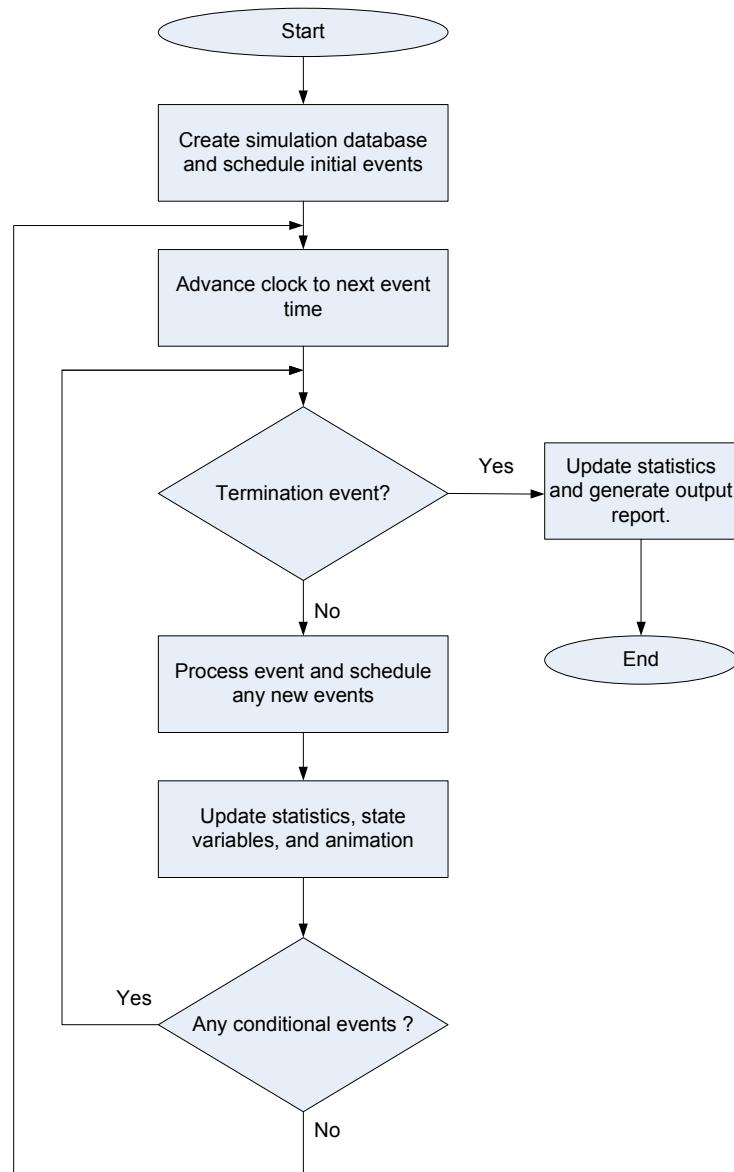
- ▶ Menggambarkan sistem → aliran proses
- ▶ Aliran proses (*process flow*): urutan kejadian untuk menjalankan simulasi
- ▶ *Event* akan menciptakan keterlambatan dalam simulasi untuk mereplikasi satu lintasan waktu
- ▶ *Event* memicu eksekusi logika yang dihubungkan dengan *event*



Tipe *event*

- ▶ **Kejadian terjadwal (*Scheduled event*):** sebuah *event* dimana saat terjadinya dapat ditentukan dan dijadwalkan sebelumnya
- ▶ **Kejadian kondisional (*Conditional event*):** dipicu oleh kondisi yang ditemui, bukan oleh satu lintasan waktu





3. Contoh Manual

Contoh: sistem ATM

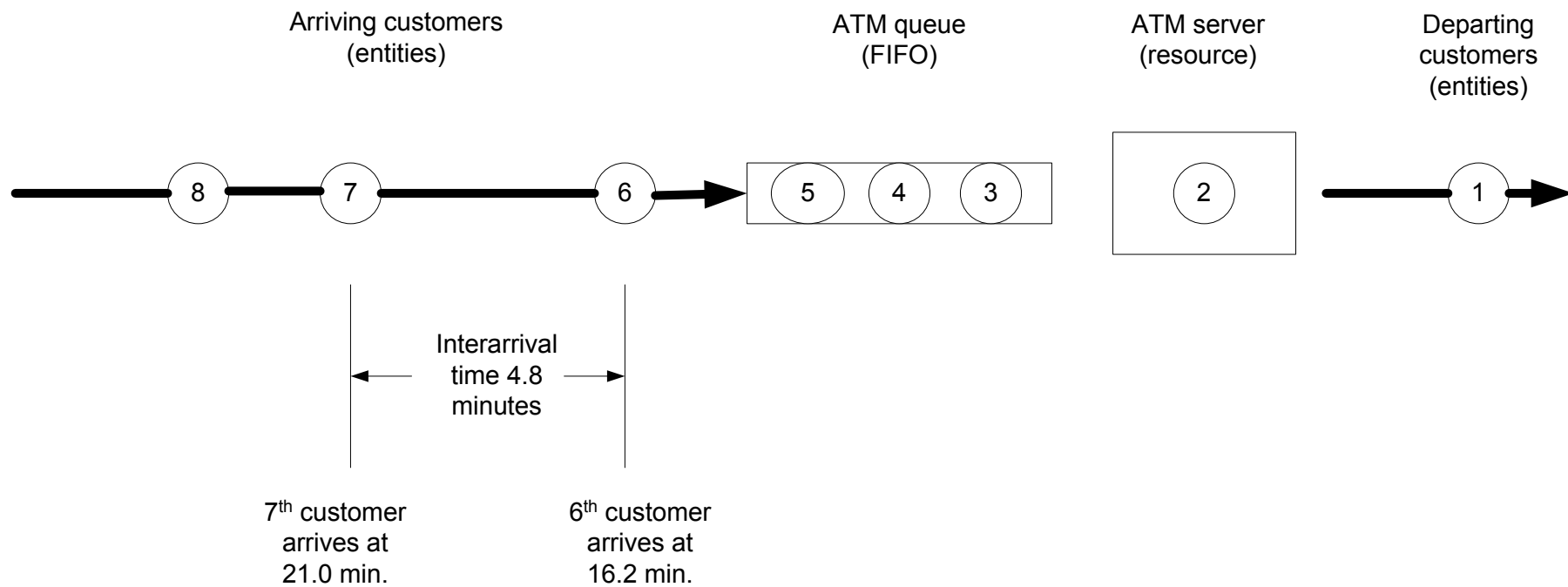


Figure: Descriptive drawing of the ATM system



Contoh: sistem ATM

- ▶ Pelanggan tiba untuk menggunakan ATM dengan waktu antar-kedatangan 3.0 menit yang terdistribusi eksponensial
- ▶ Antrian memiliki kapasitas untuk menampung pelanggan dalam jumlah tak terbatas
- ▶ ATM memiliki kapasitas satu pelanggan
- ▶ Pelanggan menghabiskan rata-rata 2.4 menit terdistribusi eksponensial untuk menyelesaikan transaksinya (waktu jasa / *service time* di ATM)
- ▶ Simulasi mulai pada saat nol
- ▶ Simulasikan sistem ATM pada 22 menit pertama operasinya dan estimasikan waktu tunggu (*expected waiting time*) pelanggan dalam antrian



Asumsi

- ▶ Tidak ada pelanggan dalam sistem pada saat awal, sehingga antrian kosong dan ATM tidak dipergunakan (*idle*)
- ▶ Waktu bergerak dari antrian ke ATM sangat kecil, sehingga diabaikan
- ▶ Pelanggan diproses dari antrian dengan dasar FIFO
- ▶ ATM tidak pernah mengalami kerusakan



Mempersiapkan simulasi (*Setting up the simulation*)

Simulasi waktu (clock):

- ▶ t_i : nilai waktu simulasi (*simulation clock*) pada langkah i , untuk $i=0$ sampai jumlah *discrete event*
- ▶ Asumsikan simulasi mulai pada saat nol, $t_0=0$
- ▶ t_1 : nilai *simulation clock* saat *discrete event* pertama dalam daftar diproses
- ▶ t_2 : nilai *simulation clock* saat *discrete event* kedua dalam daftar diproses



Mempersiapkan simulasi *(Setting up the simulation)*

Atribut entitas

- ▶ Adalah karakteristik suatu entitas yang dipertahankan oleh entitas tersebut sampai entitas keluar dari sistem
- ▶ Untuk simulasi ATM: atribut waktu kedatangan (*Arrival Time*)



Mempersiapkan simulasi (*Setting up the simulation*)

Variabel status

- ▶ Jumlah entitas dalam antrian pada langkah ke- i , NQ_i .
- ▶ *ATM status_i*; untuk menunjukkan apakah ATM sibuk atau menganggur (*idle*) pada langkah ke- i .



Mempersiapkan simulasi (*Setting up the simulation*)

Akumulator Statistik (*Statistical accumulators*)

- ▶ *Simple-average:*
 - Waktu rata-rata pelanggan menunggu dalam antrian
- ▶ *Time-average:*
 - Jumlah rata-rata pelanggan di dalam antrian



Mempersiapkan simulasi (*Setting up the simulation*)

Akumulator Statistik (*Statistical accumulators*)

- ▶ *Simple-average time in queue*
 - Menghitung jumlah pelanggan yang melewati antrian
 - Saat pelanggan melalui antrian, waktu menunggu dicatat.
 - Dihitung dari saat masuk antrian sampai saat meninggalkan antrian:
Simple-average time in queue = $t_i - \text{Arrival time}$
- ▶ *Time-average number of customers in the queue*
 - Untuk durasi langkah terakhir ($t_i - t_{i-1}$) dan jumlah pelanggan yang memasuki antrian selama langkah terakhir (NQ_{i-1}), hitung *Time-Weighted Number of Entities in the Queue* = $(t_i - t_{i-1}) NQ_{i-1}$



Mempersiapkan simulasi *(Setting up the simulation)*

Kejadian (*Event*)

- ▶ *Arrival event*: terjadi saat entitas pelanggan (*customer entity*) tiba dalam antrian
- ▶ *Departure event*: terjadi saat entitas pelanggan menyelesaikan transaksi ATM
- ▶ *Termination event*: untuk mengakhiri simulasi



Mempersiapkan simulasi (*Setting up the simulation*)

Waktu antar-kedatangan (*inter-arrival time*) dan waktu pelayanan pelanggan (*customer service time*) pada ATM terdistribusi eksponensial dengan rata-rata 3 menit dan 2.4 menit

- ▶ Waktu kedatangan dari pelanggan berikutnya dapat dijadwalkan sebagai: $t_i + E(3.0)$
- ▶ Waktu kepergian dari entitas yang telah mengakses ATM dijadwalkan sebagai: $t_i + E(2.4)$



TABLE 4.1 Manual Discrete-Event Simulation of ATM System

i	Event Calendar (Entity Number, Event, Time)	Processed Event			System State			Statistical Accumulators					Scheduled Future Events (Entity Number, Event, Time)
		Clock, t_i	Entity Number	Event	Entity Attribute Array (Entity Number, Arrival Time) *Entity Using ATM, array position 1 Entities Waiting in Queue, array positions 2, 3, ...	Number of Entities in Queue, NQ_i	ATM Status $_i$	Entities Processed through Queue			Time-Weighted Number of Entities in Queue		
								Total Processed	Time in Queue, $t_i - \text{Arrival Time}$	Cumulative, $\sum (t_i - \text{Arrival Time})$	$(t_i - t_{i-1})NQ_{i-1}$	Cumulative, $\sum (t_i - t_{i-1})NQ_{i-1}$	
0	—	0	—	—	* () ()	0	Idle	0	—	0	—	0	(1, Arrive, 2.18) (—, End, 22.00)
1	(1, Arrive, 2.18) (—, End, 22.00)	2.18	1	Arrive	*(1, 2.18) ()	↑	Busy	1	0	0	0	0	(2, Arrive, 7.91) (1, Depart, 2.28)
2	(1, Depart, 2.28) (2, Arrive, 7.91) (—, End, 22.00)	2.28	1	Depart	* () ()	↑	Idle	—	—	0	—	0	No new events
3	(2, Arrive, 7.91) (—, End, 22.00)	7.91	2	Arrive	*(2, 7.91) ()	↑	Busy	2	0	0	0	0	(3, Arrive, 15.00) (2, Depart, 12.37)
4	(2, Depart, 12.37) (3, Arrive, 15.00) (—, End, 22.00)	12.37	2	Depart	* () ()	↑	Idle	—	—	0	—	0	No new events
5	(3, Arrive, 15.00) (—, End, 22.00)	15.00	3	Arrive	*(3, 15.00) ()	↑	Busy	3	0	0	0	0	(4, Arrive, 15.17) (3, Depart, 18.25)
6	(4, Arrive, 15.17) (3, Depart, 18.25) (—, End, 22.00)	15.17	4	Arrive	*(3, 15.00) (4, 15.17)	↑	↑	—	—	0	0	0	(5, Arrive, 15.74)
7	(5, Arrive, 15.74) (3, Depart, 18.25) (—, End, 22.00)	15.74	5	Arrive	*(3, 15.00) (4, 15.17) (5, 15.74)	2	↑	—	—	0	0.57	0.57	(6, Arrive, 18.75)
8	(3, Depart, 18.25) (6, Arrive, 18.75) (—, End, 22.00)	18.25	3	Depart	*(4, 15.17) (5, 15.74)	↑	↑	4	3.08	3.08	5.02	5.59	(4, Depart, 20.50)
9	(6, Arrive, 18.75) (4, Depart, 20.50) (—, End, 22.00)	18.75	6	Arrive	*(4, 15.17) (5, 15.74) (6, 18.75)	2	↑	—	—	3.08	0.50	6.09	(7, Arrive, 19.88)
10	(7, Arrive, 19.88) (4, Depart, 20.50) (—, End, 22.00)	19.88	7	Arrive	*(4, 15.17) (5, 15.74) (6, 18.75) (7, 19.88)	3	↑	—	—	3.08	2.26	8.35	(8, Arrive, 22.53)
11	(4, Depart, 20.50) (—, End, 22.00) (8, Arrive, 22.53)	20.50	4	Depart	*(5, 15.74) (6, 18.75) (7, 19.88)	2	↑	5	4.76	7.84	1.86	10.21	(5, Depart, 24.62)
12	(—, End, 22.00) (8, Arrive, 22.53) (5, Depart, 24.62)	22.00		End	—	↑	↑	5	—	7.84	3.00	13.21	—

TABLE 3.2 Spreadsheet Simulation of Automatic Teller Machine (ATM)

Arrivals to ATM			ATM Processing Time			ATM Simulation Logic						
Stream 1 (Z1 _i)	Random Number (U1 _i)	Interarrival Time (X1 _i)	Stream 2 (Z2 _i)	Random Number (U2 _i)	Service Time (X2 _i)	Customer Number (1)	Arrival Time (2)	Begin Service Time (3)	Service Time (4)	Departure Time (5) = (3) + (4)	Time in Queue (6) = (3) - (2)	Time in System (7) = (5) - (2)
0	3		122									
1	66	0.516	5	0.039	0.10	1	2.18	2.18	0.10	2.28	0.00	0.10
2	109	0.852	108	0.844	4.46	2	7.91	7.91	4.46	12.37	0.00	4.46
3	116	0.906	95	0.742	3.25	3	15.00	15.00	3.25	18.25	0.00	3.25
4	7	0.055	78	0.609	2.25	4	15.17	18.25	2.25	20.50	3.08	5.33
5	22	0.172	105	0.820	4.12	5	15.74	20.50	4.12	24.62	4.76	8.88
6	81	0.633	32	0.250	0.69	6	18.75	24.62	0.69	25.31	5.87	6.56
7	40	0.313	35	0.273	0.77	7	19.88	25.31	0.77	26.08	5.43	6.20
8	75	0.586	98	0.766	3.49	8	22.53	26.08	3.49	29.57	3.55	7.04
9	42	0.328	13	0.102	0.26	9	23.72	29.57	0.26	29.83	5.85	6.11
10	117	0.914	20	0.156	0.41	10	31.08	31.08	0.41	31.49	0.00	0.41
11	28	0.219	39	0.305	0.87	11	31.82	31.82	0.87	32.69	0.00	0.87
12	79	0.617	54	0.422	1.32	12	34.70	34.70	1.32	36.02	0.00	1.32
13	126	0.984	113	0.883	5.15	13	47.11	47.11	5.15	52.26	0.00	5.15
14	89	0.695	72	0.563	1.99	14	50.67	52.26	1.99	54.25	1.59	3.58
15	80	0.625	107	0.836	4.34	15	53.61	54.25	4.34	58.59	0.64	4.98
16	19	0.148	74	0.578	2.07	16	54.09	58.59	2.07	60.66	4.50	6.57
17	18	0.141	21	0.164	0.43	17	54.55	60.66	0.43	61.09	6.11	6.54
18	125	0.977	60	0.469	1.52	18	65.87	65.87	1.52	67.39	0.00	1.52
19	68	0.531	111	0.867	4.84	19	68.14	68.14	4.84	72.98	0.00	4.84
20	23	0.180	30	0.234	0.64	20	68.74	72.98	0.64	73.62	4.24	4.88
21	102	0.797	121	0.945	6.96	21	73.52	73.62	6.96	80.58	0.10	7.06
22	97	0.758	112	0.875	4.99	22	77.78	80.58	4.99	85.57	2.80	7.79
23	120	0.938	51	0.398	1.22	23	86.12	86.12	1.22	87.34	0.00	1.22
24	91	0.711	50	0.391	1.19	24	89.84	89.84	1.19	91.03	0.00	1.19
25	122	0.953	29	0.227	0.62	25	99.01	99.01	0.62	99.63	0.00	0.62
										Average	1.94	4.26



