

STL(Stereo Lithography) 파일을 이용한 slice 방법개발에 관한 연구

백 인환 (부산대학교 생신기계공학과)
이 원성 (금성사 생신기술센터)
• 김 순일 (금성사 생신기술센터)

1. 서 론

가게모품이나 산개공간에 3차원 CAD시스템이 사용되어 널리 보급중에 있으며, 그중에서도 서식신개이 경우 CAD 형상 데이터의 급속임체포현법, 즉 3차원 입체모형에 의한 프로토타입 모델이 표현기술개발에 관한 연구개념이 현재 세계적으로 널리 전해되고 있다. 이 연구개념이 첫단계는 3차원 CAD의 입체데이터를 어떻게 처리하여 실제 원하는 형상을 가공해 냈는 것인가를 해결하는 것으로 3차원 CAD의 표현파일중 한가지인 STL 파일을 이용하여 이것이 해결방법에 대해 논한다.

본 연구에서 사용한 3차원 CAD는 Pro Engineer이며, 이것은 PC로 down load 받아서 PC상에서의 입체화면작성을 AutoCAD로 사용하였다.

2. STL 파일에 의한 입체형상의 표현원리

2.1 STL 파일의 구조

CAD의 3차원 입체데이터를 실물로 급속임체포현(Rapid Prototyping)하고자 하는 경우, 3차원 CAD데이터를 급속임체포현에 적합하게 변형시키야 하는데 이 파일의 형식은 여러개의 삼각형이 서로 연결되어 각 삼각형마다 형상의 외관을 나타내며, 이것들이 모이서 입체의 형상으로 표현된다. 이러한 형상을 가지는 파일을 STL 파일이라고 한다. STL 파일은 현재 급속임체포현을 하고자 하는 경우 표준파일로 이용되고 있으나 파일의 구조는 그림 1과 같다. STL 파일은 3개의 꼭지점을 가지는

3기형요소의 집합으로 이루어진다.

STL 파일을 구성하는 데이터의 형식은 facet normal을 가르키는 ⑥ 부분이 개별적으로 반복해서 나타나며 이것 하나에 3개의 꼭지점, 즉 하나의 삼각형으로 구성되어 여기에 대한 설명은 다음 그림 1과 같다.

- ① : STL파일의 시작부위로서 파일명을 나타낸다.
- ② : 작업면의 수직방향을 나타낸다.
- ③ : 3 꼭지점을 나타내는 좌표값 LOOP을 포함한다.
- ④ : 꼭지점의 좌표값은 이러한 형태로 표시된다.
- ⑤ : 작업면의 수직방향과 각 꼭지점의 좌표값을 포함하는 것으로, 이러한 형태가 반복으로 나타난다.
- ⑥ : 꼭지점 좌표를 나타내며, 3개의 꼭지점이 한쌍을 이룬다.

- ⑦ : STL 파일의 종료를 나타낸다.

2.2 STL 파일 구조분석

STL 파일은 마치 애플립과 같이 삼각형들이 모이시 3차원 형상을 구성하고 있다. 이를 삼각형의 세 꼭지점은 각각 X, Y, Z 좌표값을 가지며, 모든 삼각형은 인접한 삼각형과 하나의 면과 두개의 꼭지점을 공유한다. 이것에 대한 예는 그림 2에 나타내었다.

2.3 STL 파일을 이용하여 나타낸 입체형상의 예

STL 파일을 이용하여 나타낸 단순한 입체형상의

에는 다음과 같은데, 이것은 표현하는 데이터도 함께 나타내았다. 각 영상마다 고정된 데이터의 형식은 동일한 형태를 가짐을 알 수 있다.

3. 입체형상의 분할

3.1 목적

과거에는 2차원 데이터는 이용하여 어떤가 3차원 영상데이터는 만들거나 CAD/CAM 분야에서 아주 잘 관리되었는데 이제는, 앞으로 3차원 영상데이터는 이용하여 어떤가 어떤가 공통, 도장, 검사 등에 활용할 수 있는 2차원 데이터를 만들거나 그 관리자로 등장하였다. 이러한 관리상에 따라 3차원 CAD로 모델링한 영상을 다시 STL 파일로 변환시키고 이것을 아주 많은 툴끼를 가지는 2차원 영상으로 분할을 전시하면 원래의 데이터량에 비하여 평균 6배이상으로 데이터량이 증가한다. 여기에서 분할된 데이터는 이용하여 각 종별로 경계화정 수자에 레이저 빛을 조사시키므로 이전으로 무너 헌총싸고하시기 것을 다시 적용시키면 원래의 3차원 영상을 만들 수 있다. 현재 STL 파일을 사용하여 입체형상을 분할시키는 경우에는 주로 이와 같은 적용가공을 위한 목적이 가장 많으며, 그 외 각 종별로 로보드론 이용한 도장 또는 레이저를 이용한 비침습 형상검사/판정 등에도 활용이 가능하다.

본 논문에서는 이러한 목적으로 입체형상을 2차원영상으로 분할하는 데에 대하여 논하고자 한다.

3.2 명령

우선 3차원 CAD는 이용하여 입체형상을 모델링 한다. 모델링된 파일을 가지고 데이터 변환규칙에 의해 STL 파일로 변환시킨다. 그리고 STL 파일을 PC로 down load 시키고, down load된 데이터를 이용하여 facet normal 단위로 구성되는 3개의 꼭지점, 즉 삼각형을 처리해야 한 형상의 최소단위로 신장하여 분할(slice)작업을 수행한다. 분할시키는 기본축은 Z축으로 하였으나, X축 또는 Y축을

분할의 기본축으로 치고 수행하더라도 처리방법 자체는 변하지 않는다.

그림 5에 삼각형 분할의 예를 나타내었다.

Z축을 기준으로 Z축에 수직되게 아래에서 위 방향으로 분할을 수행하며, 1층 사이의 간격이 축을 수록 최종형상의 정밀도는 높아지지만, 이에 비례하여 데이터량이 증가한다.

하나의 삼각형에서 1층(slice)마다 2개의 점이 발생된다. 실제로 분할시 꼭지점을 만나게 되면 하나의 점만 발생되지만 개선의 편의를 위하여 2개의 점으로 취급하였다. 여기에서 삼각형마다 주인의 삼각형과 빙과 빙과 맞닿아 있으므로 개선되어진 두점은 앞 삼각형과 공유하게 되며 앞삼각형도 마찬가지로 같은 방향으로 분할을 수행한다. 모든 삼각형의 분할이 완료되면 같은 Z값을 가지는 데이터끼리 하나로 묶는다. 이때 둘이진 데이터를 연결하면 하나 이상의 해상성이 발생되며, 이것은 가공하고자 하는 부분의 외각경계값이 된다.

3.3 결과

1) 분할결과

단순한 육면체형상을 기본적으로 자체의 꼭지점 수가 짝수으로 구성되는 데이터함도 있으마, 6면 \times 2개의 삼각형 = 12개의 삼각형(patch)로 구성된다. 즉 STL 파일로 변환시키면 12개의 삼각형으로 육면체를 구성하며, 4개의 꼭지점을 가지는 많은 2개의 삼각형으로 분할됨을 알 수 있다. 이에 비하여 원의 경우는 원 외곽선을 N개의 점으로 등간격 분할한다. 이때 원의 자름크기와 정밀도에 따라서 N값이 결정되며 구성되는 예는 그림 6과 같다. 그 외 오각형은 3개의 삼각형, 육각형은 4개의 삼각형으로 구성되므로, 삼각형의 수 = N각형 - 2가 성립한다.

2) 분할시 고려사항

(1) 구성하는 각면의 크기에 따라서 인접한 삼각

형의 크기도 달라진다. 이때 각 삼각형을 분할하여 연결했을 경우, 특정한 삼각형은 연결되었다고 되어있다하는 경우가 발생한다.

- (2) 삼각형을 분할한 때 보통 두점이 발생되지만 꺽지점은 만나게 되면 한점만 발생한다. 이때 하나의 꺽지점도 두개의 점으로 간주하여 이를 폐직선을 만들 때 계산치리가 용이해진다.
- (3) 일반적으로 모든 층에서 폐직선이 이루어지지 않고 가끔씩 폐직선이 되지 않는 경우가 발생한다. 즉 복잡한 형상은 STL 파일로 변환시 데이터의 유실이 발생한다. 이러한 부분을 감색하여 인식시키 주어야 한다.
- (4) 모델링한 형성이 크지고 복잡한 경우에 STL 파일을 이용하여 분할을 시키면 데이터량이 수백 Mbyte 단위까지 차지하게 되므로, 가끔 PC에서 자리를 늘리기 발생한다.
- (5) 모델링 데이터를 이용하여 STL 파일로 변환은 가능하지만, 의도하지 않은 형상은 상립되거나 된다.

4. 결론

심사원 CAD 모델을 이용하여 STL 파일로 변환시키고, 다시 아주 얇은 층으로 분할시킨 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 아무리 복잡한 형상이라도 쉽게 삼각형 patch로 분할이 가능하다. 그리고 여기에서 만들고 있는 삼각형 patch는 해석에 사용되는 삼각형 patch와는 완전히 구별된다.
- (2) 삼각형 patch를 이용하여 얇은 층으로 분할시키고, 이것들을 모아서 동일한 z값을 가지는 것끼리 둘을 경우 원하는 폐직선이 생성되는 양수 있다.
- (3) 꺽신 또는 광면의 경우 정밀도를 형성시키기 위해 아래의 삼각형을 사용하면 데이터량이 엄청나게 증가하며 시간도 많이 소요되지만, 이으로 했을 경우 원하는 정밀도를 얻기가 이로운 결론이 있다.
- (4) 모델링 데이터를 STL 파일로 변환 시 유실되는 데이터가 가끔씩 발생하므로 이에대한 감색 및 보완이 요구된다.

```
(0) solid FILENAME
(1)
(2)   - facet normal 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
(3)     outer loop
(4)       (5)         vertex 0.000000e+00 -1.000000e+01 0.000000e+00
(5)           (6)         vertex 0.000000e+00 -1.000000e+01 1.000000e+00
(6)             vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
(7)         endloop
(8)     endfacet
(9)
(10)
(11)
(12)
(13)
(14)
(15)
(16)
(17)
(18)
(19)
(20)
(21)
(22)
(23)
(24)
(25)
(26)
(27)
(28)
(29)
(30)
(31)
(32)
(33)
(34)
(35)
(36)
(37)
(38)
(39)
(40)
(41)
(42)
(43)
(44)
(45)
(46)
(47)
(48)
(49)
(50)
(51)
(52)
(53)
(54)
(55)
(56)
(57)
(58)
(59)
(60)
(61)
(62)
(63)
(64)
(65)
(66)
(67)
(68)
(69)
(70)
(71)
(72)
(73)
(74)
(75)
(76)
(77)
(78)
(79)
(80)
(81)
(82)
(83)
(84)
(85)
(86)
(87)
(88)
(89)
(90)
(91)
(92)
(93)
(94)
(95)
(96)
(97)
(98)
(99)
(100)
(101)
(102)
(103)
(104)
(105)
(106)
(107)
(108)
(109)
(110)
(111)
(112)
(113)
(114)
(115)
(116)
(117)
(118)
(119)
(120)
(121)
(122)
(123)
(124)
(125)
(126)
(127)
(128)
(129)
(130)
(131)
(132)
(133)
(134)
(135)
(136)
(137)
(138)
(139)
(140)
(141)
(142)
(143)
(144)
(145)
(146)
(147)
(148)
(149)
(150)
(151)
(152)
(153)
(154)
(155)
(156)
(157)
(158)
(159)
(160)
(161)
(162)
(163)
(164)
(165)
(166)
(167)
(168)
(169)
(170)
(171)
(172)
(173)
(174)
(175)
(176)
(177)
(178)
(179)
(180)
(181)
(182)
(183)
(184)
(185)
(186)
(187)
(188)
(189)
(190)
(191)
(192)
(193)
(194)
(195)
(196)
(197)
(198)
(199)
(200)
(201)
(202)
(203)
(204)
(205)
(206)
(207)
(208)
(209)
(210)
(211)
(212)
(213)
(214)
(215)
(216)
(217)
(218)
(219)
(220)
(221)
(222)
(223)
(224)
(225)
(226)
(227)
(228)
(229)
(230)
(231)
(232)
(233)
(234)
(235)
(236)
(237)
(238)
(239)
(240)
(241)
(242)
(243)
(244)
(245)
(246)
(247)
(248)
(249)
(250)
(251)
(252)
(253)
(254)
(255)
(256)
(257)
(258)
(259)
(260)
(261)
(262)
(263)
(264)
(265)
(266)
(267)
(268)
(269)
(270)
(271)
(272)
(273)
(274)
(275)
(276)
(277)
(278)
(279)
(280)
(281)
(282)
(283)
(284)
(285)
(286)
(287)
(288)
(289)
(290)
(291)
(292)
(293)
(294)
(295)
(296)
(297)
(298)
(299)
(300)
(301)
(302)
(303)
(304)
(305)
(306)
(307)
(308)
(309)
(310)
(311)
(312)
(313)
(314)
(315)
(316)
(317)
(318)
(319)
(320)
(321)
(322)
(323)
(324)
(325)
(326)
(327)
(328)
(329)
(330)
(331)
(332)
(333)
(334)
(335)
(336)
(337)
(338)
(339)
(340)
(341)
(342)
(343)
(344)
(345)
(346)
(347)
(348)
(349)
(350)
(351)
(352)
(353)
(354)
(355)
(356)
(357)
(358)
(359)
(360)
(361)
(362)
(363)
(364)
(365)
(366)
(367)
(368)
(369)
(370)
(371)
(372)
(373)
(374)
(375)
(376)
(377)
(378)
(379)
(380)
(381)
(382)
(383)
(384)
(385)
(386)
(387)
(388)
(389)
(390)
(391)
(392)
(393)
(394)
(395)
(396)
(397)
(398)
(399)
(400)
(401)
(402)
(403)
(404)
(405)
(406)
(407)
(408)
(409)
(410)
(411)
(412)
(413)
(414)
(415)
(416)
(417)
(418)
(419)
(420)
(421)
(422)
(423)
(424)
(425)
(426)
(427)
(428)
(429)
(430)
(431)
(432)
(433)
(434)
(435)
(436)
(437)
(438)
(439)
(440)
(441)
(442)
(443)
(444)
(445)
(446)
(447)
(448)
(449)
(450)
(451)
(452)
(453)
(454)
(455)
(456)
(457)
(458)
(459)
(460)
(461)
(462)
(463)
(464)
(465)
(466)
(467)
(468)
(469)
(470)
(471)
(472)
(473)
(474)
(475)
(476)
(477)
(478)
(479)
(480)
(481)
(482)
(483)
(484)
(485)
(486)
(487)
(488)
(489)
(490)
(491)
(492)
(493)
(494)
(495)
(496)
(497)
(498)
(499)
(500)
(501)
(502)
(503)
(504)
(505)
(506)
(507)
(508)
(509)
(510)
(511)
(512)
(513)
(514)
(515)
(516)
(517)
(518)
(519)
(520)
(521)
(522)
(523)
(524)
(525)
(526)
(527)
(528)
(529)
(530)
(531)
(532)
(533)
(534)
(535)
(536)
(537)
(538)
(539)
(540)
(541)
(542)
(543)
(544)
(545)
(546)
(547)
(548)
(549)
(550)
(551)
(552)
(553)
(554)
(555)
(556)
(557)
(558)
(559)
(560)
(561)
(562)
(563)
(564)
(565)
(566)
(567)
(568)
(569)
(570)
(571)
(572)
(573)
(574)
(575)
(576)
(577)
(578)
(579)
(580)
(581)
(582)
(583)
(584)
(585)
(586)
(587)
(588)
(589)
(590)
(591)
(592)
(593)
(594)
(595)
(596)
(597)
(598)
(599)
(600)
(601)
(602)
(603)
(604)
(605)
(606)
(607)
(608)
(609)
(610)
(611)
(612)
(613)
(614)
(615)
(616)
(617)
(618)
(619)
(620)
(621)
(622)
(623)
(624)
(625)
(626)
(627)
(628)
(629)
(630)
(631)
(632)
(633)
(634)
(635)
(636)
(637)
(638)
(639)
(640)
(641)
(642)
(643)
(644)
(645)
(646)
(647)
(648)
(649)
(650)
(651)
(652)
(653)
(654)
(655)
(656)
(657)
(658)
(659)
(660)
(661)
(662)
(663)
(664)
(665)
(666)
(667)
(668)
(669)
(670)
(671)
(672)
(673)
(674)
(675)
(676)
(677)
(678)
(679)
(680)
(681)
(682)
(683)
(684)
(685)
(686)
(687)
(688)
(689)
(690)
(691)
(692)
(693)
(694)
(695)
(696)
(697)
(698)
(699)
(700)
(701)
(702)
(703)
(704)
(705)
(706)
(707)
(708)
(709)
(710)
(711)
(712)
(713)
(714)
(715)
(716)
(717)
(718)
(719)
(720)
(721)
(722)
(723)
(724)
(725)
(726)
(727)
(728)
(729)
(730)
(731)
(732)
(733)
(734)
(735)
(736)
(737)
(738)
(739)
(740)
(741)
(742)
(743)
(744)
(745)
(746)
(747)
(748)
(749)
(750)
(751)
(752)
(753)
(754)
(755)
(756)
(757)
(758)
(759)
(760)
(761)
(762)
(763)
(764)
(765)
(766)
(767)
(768)
(769)
(770)
(771)
(772)
(773)
(774)
(775)
(776)
(777)
(778)
(779)
(779)
(780)
(781)
(782)
(783)
(784)
(785)
(786)
(787)
(788)
(789)
(790)
(791)
(792)
(793)
(794)
(795)
(796)
(797)
(798)
(799)
(800)
(801)
(802)
(803)
(804)
(805)
(806)
(807)
(808)
(809)
(8010)
(8011)
(8012)
(8013)
(8014)
(8015)
(8016)
(8017)
(8018)
(8019)
(8020)
(8021)
(8022)
(8023)
(8024)
(8025)
(8026)
(8027)
(8028)
(8029)
(8030)
(8031)
(8032)
(8033)
(8034)
(8035)
(8036)
(8037)
(8038)
(8039)
(8040)
(8041)
(8042)
(8043)
(8044)
(8045)
(8046)
(8047)
(8048)
(8049)
(8050)
(8051)
(8052)
(8053)
(8054)
(8055)
(8056)
(8057)
(8058)
(8059)
(8060)
(8061)
(8062)
(8063)
(8064)
(8065)
(8066)
(8067)
(8068)
(8069)
(8070)
(8071)
(8072)
(8073)
(8074)
(8075)
(8076)
(8077)
(8078)
(8079)
(8080)
(8081)
(8082)
(8083)
(8084)
(8085)
(8086)
(8087)
(8088)
(8089)
(8090)
(8091)
(8092)
(8093)
(8094)
(8095)
(8096)
(8097)
(8098)
(8099)
(80100)
(80101)
(80102)
(80103)
(80104)
(80105)
(80106)
(80107)
(80108)
(80109)
(80110)
(80111)
(80112)
(80113)
(80114)
(80115)
(80116)
(80117)
(80118)
(80119)
(80120)
(80121)
(80122)
(80123)
(80124)
(80125)
(80126)
(80127)
(80128)
(80129)
(80130)
(80131)
(80132)
(80133)
(80134)
(80135)
(80136)
(80137)
(80138)
(80139)
(80140)
(80141)
(80142)
(80143)
(80144)
(80145)
(80146)
(80147)
(80148)
(80149)
(80150)
(80151)
(80152)
(80153)
(80154)
(80155)
(80156)
(80157)
(80158)
(80159)
(80160)
(80161)
(80162)
(80163)
(80164)
(80165)
(80166)
(80167)
(80168)
(80169)
(80170)
(80171)
(80172)
(80173)
(80174)
(80175)
(80176)
(80177)
(80178)
(80179)
(80180)
(80181)
(80182)
(80183)
(80184)
(80185)
(80186)
(80187)
(80188)
(80189)
(80190)
(80191)
(80192)
(80193)
(80194)
(80195)
(80196)
(80197)
(80198)
(80199)
(80200)
(80201)
(80202)
(80203)
(80204)
(80205)
(80206)
(80207)
(80208)
(80209)
(80210)
(80211)
(80212)
(80213)
(80214)
(80215)
(80216)
(80217)
(80218)
(80219)
(80220)
(80221)
(80222)
(80223)
(80224)
(80225)
(80226)
(80227)
(80228)
(80229)
(80230)
(80231)
(80232)
(80233)
(80234)
(80235)
(80236)
(80237)
(80238)
(80239)
(80240)
(80241)
(80242)
(80243)
(80244)
(80245)
(80246)
(80247)
(80248)
(80249)
(80250)
(80251)
(80252)
(80253)
(80254)
(80255)
(80256)
(80257)
(80258)
(80259)
(80260)
(80261)
(80262)
(80263)
(80264)
(80265)
(80266)
(80267)
(80268)
(80269)
(80270)
(80271)
(80272)
(80273)
(80274)
(80275)
(80276)
(80277)
(80278)
(80279)
(80280)
(80281)
(80282)
(80283)
(80284)
(80285)
(80286)
(80287)
(80288)
(80289)
(80290)
(80291)
(80292)
(80293)
(80294)
(80295)
(80296)
(80297)
(80298)
(80299)
(80300)
(80301)
(80302)
(80303)
(80304)
(80305)
(80306)
(80307)
(80308)
(80309)
(80310)
(80311)
(80312)
(80313)
(80314)
(80315)
(80316)
(80317)
(80318)
(80319)
(80320)
(80321)
(80322)
(80323)
(80324)
(80325)
(80326)
(80327)
(80328)
(80329)
(80330)
(80331)
(80332)
(80333)
(80334)
(80335)
(80336)
(80337)
(80338)
(80339)
(80340)
(80341)
(80342)
(80343)
(80344)
(80345)
(80346)
(80347)
(80348)
(80349)
(80350)
(80351)
(80352)
(80353)
(80354)
(80355)
(80356)
(80357)
(80358)
(80359)
(80360)
(80361)
(80362)
(80363)
(80364)
(80365)
(80366)
(80367)
(80368)
(80369)
(80370)
(80371)
(80372)
(80373)
(80374)
(80375)
(80376)
(80377)
(80378)
(80379)
(80380)
(80381)
(80382)
(80383)
(80384)
(80385)
(80386)
(80387)
(80388)
(80389)
(80390)
(80391)
(80392)
(80393)
(80394)
(80395)
(80396)
(80397)
(80398)
(80399)
(80400)
(80401)
(80402)
(80403)
(80404)
(80405)
(80406)
(80407)
(80408)
(80409)
(80410)
(80411)
(80412)
(80413)
(80414)
(80415)
(80416)
(80417)
(80418)
(80419)
(80420)
(80421)
(80422)
(80423)
(80424)
(80425)
(80426)
(80427)
(80428)
(80429)
(80430)
(80431)
(80432)
(80433)
(80434)
(80435)
(80436)
(80437)
(80438)
(80439)
(80440)
(80441)
(80442)
(80443)
(80444)
(80445)
(80446)
(80447)
(80448)
(80449)
(80450)
(80451)
(80452)
(80453)
(80454)
(80455)
(80456)
(80457)
(80458)
(80459)
(80460)
(80461)
(80462)
(80463)
(80464)
(80465)
(80466)
(80467)
(80468)
(80469)
(80470)
(80471)
(80472)
(80473)
(80474)
(80475)
(80476)
(80477)
(80478)
(80479)
(80480)
(80481)
(80482)
(80483)
(80484)
(80485)
(80486)
(80487)
(80488)
(80489)
(80490)
(80491)
(80492)
(80493)
(80494)
(80495)
(80496)
(80497)
(80498)
(80499)
(80500)
(80501)
(80502)
(80503)
(80504)
(80505)
(80506)
(80507)
(80508)
(80509)
(80510)
(80511)
(80512)
(80513)
(80514)
(80515)
(80516)
(80517)
(80518)
(80519)
(80520)
(80521)
(80522)
(80523)
(80524)
(80525)
(80526)
(80527)
(80528)
(80529)
(80530)
(80531)
(80532)
(80533)
(80534)
(80535)
(80536)
(80537)
(80538)
(80539)
(80540)
(80541)
(80542)
(80543)
(80544)
(80545)
(80546)
(80547)
(80548)
(80549)
(80550)
(80551)
(80552)
(80553)
(80554)
(80555)
(80556)
(80557)
(80558)
(80559)
(80560)
(80561)
(80562)
(80563)
(80564)
(80565)
(80566)
(80567)
(80568)
(80569)
(80570)
(80571)
(80572)
(80573)
(80574)
(80575)
(80576)
(80577)
(80578)
(80579)
(80580)
(80581)
(80582)
(80583)
(80584)
(80585)
(80586)
(80587)
(80588)
(80589)
(80590)
(80591)
(80592)
(80593)
(80594)
(80595)
(80596)
(80597)
(80598)
(80599)
(80600)
(80601)
(80602)
(80603)
(80604)
(80605)
(80606)
(80607)
(80608)
(80609)
(80610)
(80611)
(80612)
(80613)
(80614)
(80615)
(80616)
(80617)
(80618)
(80619)
(80620)
(80621)
(80622)
(80623)
(80624)
(80625)
(80626)
(80627)
(80628)
(80629)
(80630)
(80631)
(80632)
(80633)
(80634)
(80635)
(80636)
(80637)
(80638)
(80639)
(80640)
(80641)
(80642)
(80643)
(80644)
(80645)
(80646)
(80647)
(80648)
(80649)
(80650)
(80651)
(80652)
(80653)
(80654)
(80655)
(80656)
(80657)
(80658)
(80659)
(80660)
(80661)
(80662)
(80663)
(80664)
(80665)
(80666)
(80667)
(80668)
(80669)
(80670)
(80671)
(80672)
(80673)
(80674)
(80675)
(80676)
(80677)
(80678)
(80679)
(80680)
(80681)
(80682)
(80683)
(80684)
(80685)
(80686)
(80687)
(80688)
(80689)
(80690)
(80691)
(80692)
(80693)
(80694)
(80695)
(80696)
(80697)
(80698)
(80699)
(80700)
(80701)
(80702)
(80703)
(80704)
(80705)
(80706)
(80707)
(80708)
(80709)
(80710)
(80711)
(80712)
(80713)
(80714)
(80715)
(80716)
(80717)
(80718)
(80719)
(80720)
(80721)
(80722)
(80723)
(80724)
(80725)
(80726)
(80727)
(80728)
(80729)
(80730)
(80731)
(80732)
(80733)
(80734)
(80735)
(80736)
(80737)
(80738)
(80739)
(80740)
(80741)
(80742)
(80743)
(80744)
(80745)
(80746)
(80747)
(80748)
(80749)
(80750)
(80751)
(80752)
(80753)
(80754)
(80755)
(80756)
(80757)
(80758)
(80759)
(80760)
(80761)
(80762)
(80763)
(80764)
(80765)
(80766)
(80767)
(80768)
(80769)
(80770)
(80771)
(80772)
(80773)
(80774)
(80775)
(80776)
(80777)
(80778)
(80779)
(80780)
(80781)
(80782)
(80783)
(80784)
(80785)
(80786)
(80787)
(80788)
(80789)
(80790)
(80791)
(80792)
(80793)
(80794)
(80795)
(80796)
(80797)
(80798)
(80799)
(80800)
(80801)
(80802)
(80803)
(80804)
(80805)
(80806)
(80807)
(80808)
(80809)
(80810)
(80811)
(80812)
(80813)
(80814)
(80815)
(80816)
(80817)
(80818)
(80819)
(80820)
(80821)
(80822)
(80823)
(80824)
(80825)
(80826)
(80827)
(80828)
(80829)
(80830)
(80831)
(80832)
(80833)
(80834)
(80835)
(80836)
(80837)
(80838)
(80839)
(80840)
(80841)
(80842)
(80843)
(80844)
(80845)
(80846)
(80847)
(80848)
(80849)
(80850)
(80851)
(80852)
(80853)
(80854)
(80855)
(80856)
(80857)
(80858)
(80859)
(80860)
(80861)
(80862)
(80863)
(80864)
(80865)
(80866)
(80867)
(80868)
(80869)
(80870)
(80871)
(80872)
(80873)
(80874)
(80875)
(80876)
(80877)
(80878)
(80879)
(80880)
(80881)
(80882)
(80883)
(80884)
(80885)
(80886)
(80887)
(80888)
(80889)
(80890)
(80891)
(80892)
(80893)
(80894)
(80895)
(80896)
(80897)
(80898)
(80899)
(80900)
(80901)
(80902)
(80903)
(80904)
(80905)
(80906)
(80907)
(80908)
(80909)
(80910)
(80911)
(80912)
(80913)
(80914)
(80915)
(80916)
(80917)
(80918)
(80919)
(80920)
(80921)
(80922)
(80923)
(80924)
(80925)
(80926)
(80927)
(80928)
(80929)
(80930)
(80931)
(80932)
(80933)
(80934)
(80935)
(80936)
(80937)
(80938)
(80939)
(80940)
(80941)
(80942)
(80943)
(80944)
(80945)
(80946)
(80947)
(80948)
(80949)
(80950)
(80951)
(80952)
(80953)
(80954)
(80955)
(80956)
(80957)
(80958)
(80959)
(80960)
(80961)
(80962)
(80963)
(80964)
(80965)
(80966)
(80967)
(80968)
(80969)
(80970)
(80971)
(80972)
(80973)
(80974)
(80975)
(80976)
(80977)
(80978)
(80979)
(80980)
(80981)
(80982)
(80983)
(80984)
(80985)
(80986)
(80987)
(80988)
(80989)
(80990)
(80991)
(80992)
(80993)
(80994)
(80995)
(80996)
(80997)
(80998)
(80999)
(80100)
(80101)
(80102)
(80103)
(80104)
(80105)
(80106)
(80107)
(80108)
(80109)
(80110)
(80111)
(80112)
(80113)
(80114)
(80115)
(80116)
(80117)
(80118)
(80119)
(80120)
(80121)
(80122)
(80123)
(80124)
(80125)
(80126)
(80127)
(80128)
(80129)
(80130)
(80131)
(80132)
(80133)
(80134)
(80135)
(80136)
(80137)
(80138)
(80139)
(80140)
(80141)
(80142)
(80143)
(80144)
(80145)
(80146)
(80147)
(80148)
(80149)
(80150)
(80151)
(80152)
(80153)
(80154)
(80155)
(80156)
(80157)
(80158)
(80159)
(80160)
(80161)
(80162)
(80163)
(80164)
(80165)
(80166)
(80167)
(80168)
(80169)
(80170)
(80171)
(80172)
(80173)
(80174)
(80175)
(80176)
(80177)
(80178)
(80179)
(80180)
(80181)
(80182)
(80183)
(80184)
(80185)
(80186)
(80187)
(8
```

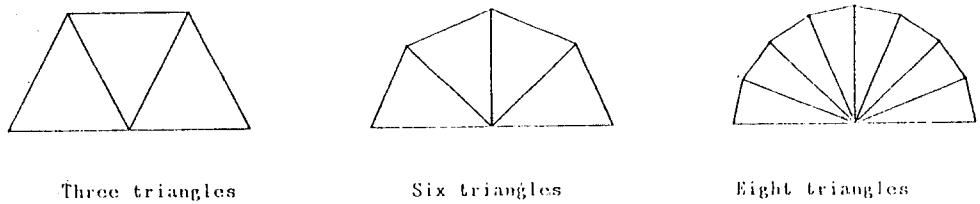


Fig.2 Triangles approximating half-circles

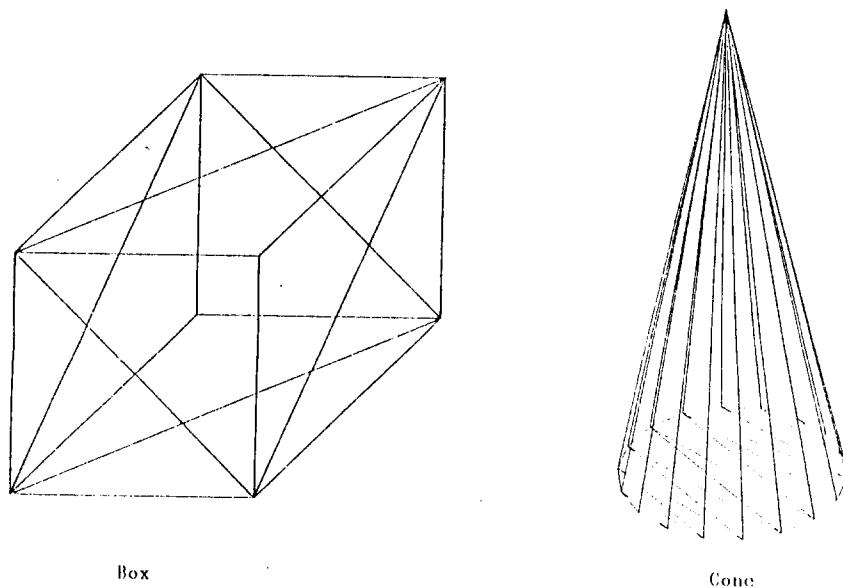


Fig.3 Examples of simple shape make by STL file

```

solid CONE1
facet normal 0.000000e+00 -1.000000e+00 0.000000e+00
  outer loop
    vertex -9.397099e+00 -5.000000e+01 3.419648e+00
    vertex 9.397099e+00 -5.000000e+01 3.419648e+00
    vertex 1.000000e+01 -5.000000e+01 0.000000e+00
  endloop
endfacet

facet normal 8.497249e-01 1.932480e-01 4.905331e-01
  outer loop
    vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    vertex 7.660846e+00 -5.000000e+01 6.427267e+00
    vertex 9.397099e+00 -5.000000e+01 3.419648e+00
  endloop
endfacet
endsolid CONE1

```

Fig.4 Data format of cone shape